



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA**

ALDREI MARUCCI VEIGA

**CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROSEDIMENTOLÓGICO
SWAT NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, GOIÂNIA - GO**

Goiânia, Maio de 2014.

TERMO DE CIÊNCIA E AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR A TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA**

ALDREI MARUCCI VEIGA

**CALIBRAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA DO MODELO
SWAT NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, GOIÂNIA - GO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares.

Goiânia, Maio de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

ACEITE DA BANCA

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais pelo amor e sacrifícios concedidos, filho pela alegria de vida, amigos e colegas pelo crescimento e apoio nessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a DEUS pelo plano de vida que tem traçado para mim e poder sempre contar com ELE onde me sustentou quando não tinha forças.

Ao meu pai, Gedson Pereira da Veiga, por ter lutado a vida toda no intuito de proporcionar-me boa qualidade de vida em que tive a oportunidade de graduar-me em excelente universidade e por conseguinte concluir o mestrado em uma instituição de ensino superior de cujo reconhecimento nacional é indiscutível. À minha mãe, Rosângela Denófrío Marucci, por abdicar de sua vida para que eu tivesse a melhor educação e cuidados possíveis.

A mãe do meu filho, Simone Bento de Paula, que cuidou dele quando eu precisava me dedicar a pesquisa, e ao meu filho, Victor Veiga Bento Marucci, pela alegria que me dá em viver e lutar cada vez mais.

Ao professor Dr. Alexandre Kepler Soares, pela sábia orientação, pelo apoio, incentivo e amizade, e por acreditar que eu seria capaz de realizar esse trabalho.

Ao colega e hoje meu amigo, Wellington Nunes de Oliveira, pelo apoio e ensinamentos no Arcgis e SWAT.

Aos funcionários do departamento de Hidrologia e Gestão Territorial do Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, em especial ao amigo Mauro Campos Trindade pelo compartilhamento de sua ampla experiência e conhecimentos em monitoramento de vazão e por ter ido em várias oportunidades à campo juntamente comigo para me auxiliar nos equipamentos.

Em nome da Bruna Ferreira da Silva, a todos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, pois ela muito me auxiliou nas análises de laboratório.

Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pela bolsa de mestrado e pelo auxílio financeiro concedidos, respectivamente.

Aos membros que compõem a banca examinadora pela oportunidade da melhoria desta pesquisa.

Ao Dr. Roberto Ventura Santos, pela disponibilidade em participar da mesma, pois são conhecidas suas atividades, as quais demandam muito tempo em sua agenda.

RESUMO

A produção de sedimentos caracteriza-se como uma das importantes variáveis que precisam ser determinadas em bacias hidrográficas. Para um efetivo controle de erosão, é necessário avaliar os fatores que interagem na degradação do solo e da água. Na hidrologia, o entendimento do balanço hídrico é de suma importância uma vez que é a força primária que controla a dinâmica do transporte de sedimentos e nutrientes. O objetivo deste trabalho é realizar análises de calibrações do modelo hidrossedimentológico *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) em termos de vazão e sedimento em suspensão na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia para estimar a produção de sedimento na bacia. Foram realizadas medições de vazões e sedimentos em suspensão durante o período de Fevereiro a Dezembro de 2013 e os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica localizada na Escola de Agronomia da UFG. Os dados do terreno tais como o Modelo Digital de Elevação (MDE), tipos de solo e uso e ocupação do solo foram adquiridos no site do Sistema de Informação e Estatística de Goiás (SIEG). A análise estatística pelo Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe – COE, resultou em 0,80 e 0,88 para o escoamento superficial e sedimento em suspensão, respectivamente, sendo considerados bons ajustes entre os valores medidos e simulados. Após a calibração pode-se verificar que a maior parte da produção de sedimento está nas sub-bacias próximas ao exutório da bacia do Córrego Samambaia, e observa-se que onde há glebas com vegetação remanescente ocorre redução de sedimento, e o contrário acontece nas áreas com predominância de urbanização e pastagem.

As análises de calibração foram realizadas no próprio *software* SWAT (interface ArcSwat) e no *software* SWAT-CUP, que é uma ferramenta específica para calibração automática.

Inicialmente, a simulação no SWAT apresentou valores superestimados nos picos de escoamento superficial e subestimou as vazões mínimas. Entretanto, e após a análise de sensibilidade, os picos foram minimizados e as vazões mínimas apresentaram valores mais ajustados aos valores medidos.

No SWAT-CUP foram utilizadas as técnicas de GLUE, PARASOL e SUFI-2, sendo que o último apresentou melhor ajuste aos valores medidos. O parâmetro Cn2 (CN do método de curva número do SCS) foi o que apresentou maior sensibilidade na calibração e está relacionado ao tipo de solo, uso e cobertura do solo de acordo com a taxa de infiltração, textura e estrutura. Posterior ao parâmetro Cn2, o fator alfa do fluxo de base foi outro que apresentou maior sensibilidade. O elevado valor obtido para o coeficiente de Manning permite que o escoamento superficial seja amortecido. Assim, e levando em consideração as três variáveis de decisão mais sensíveis para descarga líquida, os resultados do modelo evidenciaram as características físicas do solo, tanto para o CN quanto para o retorno do fluxo de base, e a cobertura deste pela restrição à velocidade do escoamento através do elevado coeficiente de rugosidade obtido nas simulações.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Medição de vazões; Sedimentos em suspensão; SWAT.

ABSTRACT

The sediment production is characterized as one of the important variables that need to be determined in watersheds . For effective erosion control is necessary to evaluate the factors that interact in the degradation of soil and water . Hydrology , understanding the water balance is of paramount importance since it is the primary force that controls the dynamics of sediment transport and nutrients . The objective of this work is to perform calibrations of flow and sediment in Córrego Samambaia Watershed using the hydrological model Soil Water Assessment Tool - SWAT estimate the sediment yield in the basin through the model calibration and sensitivity analyzes . Measurements of streamflow and suspended sediment during the period February to December 2013, and the climatic input data were obtained from the meteorological station located in the School of Agronomy of UFG campus , and terrain data such as MDE , types were performed and soil use and occupation of land were acquired in the SIEG site . Statistical analysis using coefficient of Nash - Sutcliffe Efficiency - COE resulted in 0,80 and 0,88 for runoff and sediment respectivamentes suspension and is considered good fit between simulated and measured values . After calibration can be seen that most of the sediment production is in the sub - basins near the exutório of Córrego Samambaia basin, and it is observed that where there are plots with vegetation remaining sediment reduction occurs , the opposite happens in the areas predominantly urban and pasture . For example , in sub -basin 4 , where it is concentrated at lower sediment production , after calibration the value obtained sediment was 14,0323 tons throughout this area , and it is this which is the highest percentage of remnant vegetation in relation to urbanization and grazing by area, ie , the percentage of vegetation in sub - basin is greater than the sum of the percentage of grazing and urbanization which are the types of occupation of land that may produce most of the sediment in a given basin . The sub - basins 9 , 14 and 15 are those with the highest sediment production , and 3023,43 tons ; 2930,96 tons; and 2892,92 tons respectively , and these occupation that generates greater amount of sediment (urbanization and pasture) occupy more than 60 % of each sub -basin .

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1 Produção de sedimento.....	21
3.1.1 Erosão em Lençol.....	23
3.1.2 Erosão Linear.....	23
3.1.3 Erosão em Ravinas.....	23
3.1.4 Erosão em Voçorocas.....	24
3.2 Descarga Sólida.....	24
4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
5. ÁREA DE ESTUDO.....	35
5.1 Caracterização da área de estudo.....	35
5.2 Medição Fluviométrica.....	44
5.3 Medição de Descarga Sólida.....	48
5.4 Estação Meteorológica.....	54
6. <i>SOIL WATER AND ASSESSMENT TOOL – SWAT</i>	56
a-) Escoamento superficial.....	59
b-) Evapotranspiração.....	62
b.1-) Evapotranspiração Potencial.....	62
b.2-) Evapotranspiração Real.....	63
c-) Percolação.....	63
d-) Fluxo / escoamento lateral e vazão sub-superficial.....	64
e-) Escoamento subterrâneo.....	65
f-) Sedimento.....	67
6.1 Calibração e Análise de Sensibilidade.....	72
6.1.a Parâmetros sensíveis na calibração com descargas líquidas observadas no modelo SWAT.....	75
6.1.b Parâmetros sensíveis na calibração com descargas sólidas observadas no modelo SWAT.....	77
6.2 Análise de Incertezas.....	78
6.2.1 <i>SWAT-CUP: Soil Water Assessment Tools – Calibration Uncertainty Programs</i> ..	80
6.2.1.a <i>Generalized Likelihood Uncertainty Estimation – GLUE</i>	80
6.2.1.b <i>Parameter Solution – ParaSol</i>	81
6.2.1.c <i>Sequential Uncertainty Fltting – SUFI-2</i>	81
7. Banco de Dados e aplicação do SWAT.....	83
8. RESULTADOS E DIUCSSÕES.....	92
9. CONCLUSÕES.....	120
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Erosão do solo.....	21
Figura 2 - Delimitação da BHCS.....	35
Figura 3- Mapa de declividade da bacia.....	36
Figura 4 - Classificação supervisionada da Bacia do Samambaia.....	38
Figura 5 - Seção medidora no período seco.....	38
Figura 6- Seção medidora no período chuvoso.....	39
Figura 7- Mapa de Uso e Ocupação do Solo em cada Unidade de Resposta Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia.....	40
Figura 8- Classificação do solo da bacia hidrográfica.....	43
Figura 9 - ADV- Flow tracker.....	45
Figura 10 - ADCP Argonaut-SW.....	45
Figura 11 - ADCP Argonaut-SW instalado em canal artificial.....	46
Figura 12 - ADCP Argonaut-SW e instalação adaptada para bateria automotiva.....	46
Figura 13 - Data logger de nível de água.....	46
Figura 14 - Data logger de nível de água.....	47
Figura 15- ADCP-Argonaut após as medições em 2103.....	48
Figura 16 - Amostrador / coletor de amostras.....	48
Figura 17 - Amostrador / coletor de amostras instalado no ponto de medição.....	49
Figura 18 - Comparativo visual das águas coletadas em 29/11/13 e 03/12/13.....	50
Figura 18 - Comparativo visual das águas coletadas em 29/11/13 e 03/12/13.....	50
Figura 20- Amostra do dia 03/12/2013 separada em becker de 1000mL necessário a secagem em estufa.....	51
Figura 21- Amostra do sedimento no dia 29/11/2013 seco em estufa.....	51

Figura 22- Amostra do sedimento seco em estufa no dia 03/12/2013	52
Figura 23- Amostras colocadas em copos metálicos e levadas para secagem na estufa.....	53
Figura 24 - Estação climatológica localizada no campus da Agronomia-UFG.....	56
Figura 25 - Estação climatológica localizada no campus da Agronomia-UFG.....	56
Figura 26- Esquemática do processamento no SWAT.....	57
Figura 27 – Fluxo da água.....	59
Figura 28 - Ciclo hidrológico ou Ciclo da Água.....	60
Figura 29- Posicionamento da seção medidora e estação meteorológica na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia.....	83
Figura 30- Parâmetros climáticos inseridos no banco de dados (access) do SWAT.....	84
Figura 31- Parâmetros de solos inseridos no banco de dados (access) do SWAT.....	85
Figura 32- Determinação das HRU na interface ArcSWAT.....	86
Figura 33- Janela de simulação e aquecimento da interface ArcSWAT.....	88
Figura 34- Janela de procedimento da análise de sensibilidade no SWAT 2009.....	88
Figura 35- Janela do ArcSWAT que permite a escolha da simulação, sub-bacia e parâmetros na calibração automática.....	89
Figura 36- Janela inicial do SWAT-CUP.....	90
Figura 37- Janelas do SWAT-CUP e Windows Explorer, local a ser inserido o arquivo File.Cio e o arquivo de saída do SWAT nas respectivas janelas.....	91
Figura 38- Modelo digital de terreno da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia.....	92
Figura 39- Mapa de hidrografia e sub-bacias geradas pelo SWAT.....	96
Figura 40- Dimensões dos canais por sub-bacia, gerados pelo SWAT.....	97
Figura 41- Medição do ADCP-Argonaut.....	97
Figura 42- Medição do ADCP Flow-tracker.....	98

Figura 43- Precipitação anual total do período de 2003 a 2013 para a bacia do BHCS.....	98
Figura 44- Gráfico de precipitação <i>versus</i> cota para a BHCS.....	99
Figura 45- Imagem da esquerda ilustra a seção medidora cheia (seção "encaixada"). Imagem da direita é a seção no período seco (consegue-se visualizar o ADCP-Argonaut no fundo do córrego).....	99
Figura 46- Valores médios dos parâmetros por camada e classe de solo.....	101
Figura 47- Gráfico da concentração de sedimento <i>versus</i> cotas medidas a partir do dia juliano de 250 em 2013 (a partir de 07 de Setembro de 2013).....	102
Figura 48- Gráfico vazão x cota (curva-chave fluviométrica).....	103
Figura 49- Concentração de sedimento em suspensão x Vazão.....	104
Figura 50- Janela da interface ArcSWAT para a análise de sensibilidade.....	105
Figura 51- Primeira simulação do SWAT.....	106
Figura 52- Primeira auto-calibração da simulação 1 do SWAT.....	107
Figura 53- Janela de auto-calibração no SWAT.....	107
Figura 54- Terceira simulação com auto-calibração do SWAT.....	108
Figura 55- Terceira simulação com auto-calibração do SWAT e SWAT-CUP pelo método Parasol.....	109
Figura 56- Simulação 5 com auto-calibração do SWAT.....	110
Figura 57- Simulação no SWAT-CUP utilizando os métodos Parasol, Glue e Sufi2.....	111
Figura 58- Vazão Simulada (Quinta Simulação) <i>versus</i> Precipitação.....	111
Figura 59- Janelas do SWAT em sequencia para a escolha do coeficiente de Manning.....	112
Figura 60- Simulação 10 com auto-calibração do SWAT.....	113
Figura 61- Simulações 7 e 11 com auto-calibração do SWAT.....	116
Figura 62- Simulação 11 com auto-calibração do SWAT.....	117
Figura 63- Produção de sedimento em cada sub-bacia do Córrego Samambaia.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da bacia hidrográfica do córrego Samambaia.....	36
Tabela 2- Uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia.....	39
Tabela 3- Uso e ocupação do solo para cada sub-bacia com suas respectivas áreas ocupadas na BHCS.....	41
Tabela 4- Solos predominantes na bacia hidrográfica.....	43
Tabela 5 – Volumes mínimos de amostras necessárias para análise de concentração de sedimento em suspensão.....	53
Tabela 6- Métodos usuais de análise de sedimentos.....	53
Tabela 7 - Valores de P_{USLE} para as respectivas faixas de declividades com os respectivos comprimentos máximos.....	71
Tabela 8 - Valores de P_{USLE} para as respectivas culturas com plantios, faixas de declividades e comprimentos máximos.....	71
Tabela 9. Influência da posição do parâmetro na Análise de Sensibilidade no processo de Calibração.....	75
Tabela 10- Parâmetros de maior sensibilidade para escoamento superficial no SWAT.....	76
Tabela 11- Parâmetros sensíveis ao escoamento superficial.....	77
Tabela 12- Parâmetros de sedimento sensíveis no SWAT.....	78
Tabela 13- Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação meteorológica da UFG-Campus II.....	87
Tabela 14- Sub-bacias, áreas e suas elevações geradas pelo SWAT.....	92
Tabela 15- Sub-bacias da bacia do Córrego Samambaia.....	93
Tabela 16- Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979).....	100
Tabela 17- Tempo de concentração (em horas) para cada sub-bacia gerada pelo SWAT.....	100

Tabela 18- Valores de condutividade hidráulica K baseado na estrutura do solo.....	101
Tabela 19- Procedimento adotado para traçado da curva-chave fluviométrica.....	102
Tabela 20- <i>Ranking</i> do parâmetros de vazão sensíveis, realizado na primeira análise de sensibilidade.....	105
Tabela 21- Valores médios dos quinze primeiros parâmetros.....	113
Tabela 22- Valores médios dos quinze primeiros parâmetros.....	114
Tabela 23- Descrição dos quinze primeiros parâmetros encontrados nas simulações do SWAT.....	114
Tabela 24- Valores médios dos parâmetros de sedimento.....	117
Tabela 25- Descrição dos parâmetros de sedimento encontrados nas simulações do SWAT.....	118

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo base (dias)
AGRL	Agricultura Genérica
ANION_EXCL	Porosidade
BHCS	Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia
Biomix	Eficiência da mistura biológica
Blai	Índice máximo de área foliar
Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
Ch_N2	Coefficiente de Manning do canal principal
Cm	Centímetros
Cn2	Valor da Curva Número inicial do Soil Conservation Service
COE	Coefficiente de Nash-Sutcliffe
Cx	Cambissolos
DEM	Modelo digital de elevação
DEWPT	Média diária do ponto de orvalho para determinado mês
Dv	Desvio observado (%)
Epc0	Fator de compensação da retirada das plantas
Esco	Fator de compensação da evaporação do solo
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETM+	Enhanced Thematic Mapper, Plus
FRSE	Vegetação Nativa
Gj	Gleissolo
GO	Goiás
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
Gw_Revap	Coefficiente de re-evaporação da água subterrânea
Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
Ha	Hectares
HidroWeb	Sistema de Informações Hidrológicas
HRU	Unidades de resposta hidrológicas
HYDGRP	Grupo hidrológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Lve	Latossolos
NRCS	Natural Resource Conservation Service
PAST	Pastagem
PCPD	Média mensal de dias de precipitação
PCPMM	Média mensal da precipitação total
PCPSKW	Coefficiente de assimetria Skew para a precipitação máxima
PCPSTD	Desvio padrão para a precipitação diária do mês
PR_W1	Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês
PR_W2	Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês
PRISM	Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
PVA	Argissolos
RAINHHMX	Valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um

	determinado mês
SAD-69	South American Datum 1969
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Ssubbsn	Comprimento da declividade média (m)
Smfmn	Fator de derretimento da neve em dezembro (mm H ₂ O/°C/dia)
Smfmx	Fator de derretimento da neve em junho (mm H ₂ O/°C/dia)
Smtmp	Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
SOLARAV	Média de radiação solar diária para um determinado mês
SOL_ALB	Albedo do solo
SOL_AWC	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
SOL_CBN	Conteúdo de carbono orgânico
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
SOL_Z	Profundidade da camada (mm)
SOL_ZMX	Profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)
Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial
Surq	Escoamento superficial
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TM	Thematic Mapper
TMPMN	Média mensal de temperatura mínima diária
TMPMX	Média mensal de temperatura máxima diária
TMPSTDMN	Desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês
TMPSTDMX	Desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês
Tr	Período de retorno
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transverso de Mercator
WDAV	Média diária da velocidade do vento para determinado mês
WXGEM	Gerador climático
XPR	Coordenada X
YPR	Coordenada Y

1. INTRODUÇÃO

Os processos de erosão e sedimentação em uma bacia hidrográfica podem trazer muitos problemas, sendo que a erosão remove a camada superficial do solo reduzindo sua profundidade. O sedimento é transportado para os corpos d'água, prejudicando a qualidade das águas, além de servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais (PAIVA, 2003).

A produção de sedimentos caracteriza-se como uma das importantes variáveis que precisam ser determinadas em bacias hidrográficas. Para um efetivo controle de erosão é necessário avaliar os fatores que interagem na degradação do solo e da água. Na hidrologia, o entendimento do balanço hídrico é de suma importância uma vez que é a força primária que controla a dinâmica do transporte de sedimentos e nutrientes. Variações temporais e espaciais impactam diretamente na produção de sedimentos, considerando que a água atua no processo erosivo, no transporte de sedimento para a rede de drenagem até atingir o exutório da bacia. A utilização da modelagem hidrológica é essencial para determinar impactos, antes mesmo da utilização da área em questão, de determinada cultura ou prática agrícola, fornecendo informações necessárias para pressupor a identificação da origem e natureza da poluição, bem como para a quantificação de sua carga (BONUMÁ, 2011).

O ciclo hidrossedimentológico ocorre concomitantemente ao ciclo hidrológico e envolve a erosão, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica. Da mesma maneira que é possível distinguir os principais fenômenos que compõem o ciclo hidrológico (interceptação, evaporação e a infiltração da água), pode-se identificar os processos que regem o deslocamento de partículas sólidas pela bacia hidrográfica. Esses processos são denominados desagregação, separação ou erosão, transporte, sedimentação, depósito e consolidação (BORDAS e SEMMELMANN, 2011).

A erosão é um processo de desagregação e transporte das partículas do solo (BORDAS e SEMMELMANN, 2011; BROOKS *et al.*, 2003; CORRÊA, 2005), seja da superfície do solo ou das paredes dos leitos dos córregos e rios, sob efeito do escoamento (BORDAS e SEMMELMANN, 2011). As partículas provenientes do solo podem ser desagregadas pela ação de energia na superfície do solo proveniente da chuva, do escoamento superficial, assim como pela ação do vento, sendo então transportada pela água, pelo vento ou pela força da gravidade (BROOKS *et al.*, 2003).

Dentre as formas de erosão, a hídrica é a mais importante forma de erosão (MACHADO, 2002), sendo causada pela chuva, escoamento superficial e afetada por um grande número de agentes naturais e antropogênicos (MACHADO, 2002). As principais consequências do impacto das gotas de chuva na superfície do solo são a deterioração da estrutura do solo em decorrência da destruição dos agregados do solo, e o preenchimento dos poros superficiais do solo pelas partículas mais finas que foram desagregadas pela ação da chuva (BROOKS *et al.*, 2003).

No caso da erosão hídrica, o deslocamento ocorre quando as forças hidrodinâmicas exercidas pelo escoamento superficial sobre uma partícula de solo ultrapassam a resistência por ela oferecida, cuja origem está no peso da partícula e nas forças de coesão (BORDAS e SEMMELMANN, 2011).

O transporte de sedimento é designado quando as partículas do solo são transportadas e entram em contato com o fundo do leito pelo efeito da gravidade, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes no fundo dos cursos d'água (BORDAS e SEMMELMANN, 2011).

Quando o processo erosivo assume valores acima da taxa de tolerância, os cursos d'água não conseguem mais transportar os sedimentos que, com o passar do tempo, depositam-se paulatinamente nos seus leitos, o que pode culminar no assoreamento total de pequenos cursos d'água e nascentes (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

Existem atualmente diversos modelos para a predição da erosão hídrica e do transporte de sedimentos de forma integrada, destacando nessa pesquisa o *Soil and Water Assessment Tool-SWAT* (ARNOLD *et al.*, 1998).

A Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS) é considerada uma bacia semi-urbana, tendo ainda a predominância de pastagens e está começando a ser monitorada hidrologicamente pela Universidade Federal de Goiás. A bacia atravessa a cidade de Goiânia sendo um dos afluentes do Rio Meia Ponte. Por ser uma bacia com forte ação antrópica e predominância de pastagens, supõe-se que há uma grande produção de sedimentos acarretando em possibilidade de assoreamento do córrego.

Existe grande dificuldade do gestor estadual em monitorar pequenas bacias, devido a limitação de pessoal e investimento em tecnologias de medições hidrológicas, portanto o modelo hidrológico escolhido para o estudo, SWAT, pode ser aplicado em bacias não-monitoradas, sendo um modelo contínuo, distribuído, sub-divide a bacia em unidades de respostas hidrológicas e é

computacionalmente eficiente (Arnold *et al.*, 1998; Neitsch *et al.*, 2002; Neitsch *et al.*, 2005; Minotti, 2006; Uzeika, 2009; Xavier, 2009; Lelis, 2001 e Galharte, 2011).

A simulação com o modelo hidrológico SWAT será aplicado na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS) na região de Goiânia, tendo medições de descarga líquida e descarga sólida próximas a estação meteorológica da Escola de Agronomia no campus II da Universidade Federal de Goiás.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar calibrações do modelo hidrológico *Soil Water Assessment Tool* – SWAT na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia em termos de descarga líquida (vazão) e concentração de sedimento em suspensão para estimar a produção de sedimento na bacia.

Como objetivos específicos tem-se:

- ✓ Determinar os principais parâmetros para os quais o modelo SWAT é mais sensível, no caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia;
- ✓ Calibrar o modelo em relação às vazões e concentração de sedimentos em suspensão observados no Córrego Samambaia no período de 2013 utilizando o modelo SWAT-CUP.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Produção de sedimento

A erosão é um processo provocado lentamente a partir de diversas forças motrizes ambientais, predominantemente pela água e pelo vento e ocasiona o desgaste de porções do solo ou rochas superficiais, com conseqüente desagregação, remoção e destinação dos sedimentos gerados.

No entanto a interferência antrópica é capaz de acelerar os processos erosivos, tal ação geralmente engloba práticas errôneas de uso e ocupação do solo, desmatamentos e construção de obras impactantes.

As consequências da erosão do solo associada à produção, transporte e deposição de sedimento alcançam os cursos hídricos na forma de deposição de sedimentos, o que reduz a capacidade hídrica de rios e reservatórios, aumentando o risco de enchentes e reduzindo a vida útil de reservatórios.

A erosividade da chuva e a erodibilidade do solo são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo (Figura 1). A erosão do solo depende de vários fatores, como o potencial da chuva em causar erosão, as condições de infiltração, escoamento superficial, declividade, comprimento da rampa, ou da encosta, e ainda fatores como desagregabilidade, gradiente crítico e erodibilidade do solo. Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais suscetíveis ao destacamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros. Essa diferença devido às propriedades do solo é conhecida como erodibilidade do solo. (CARVALHO 2008).



Figura 1 - Erosão do solo (Fonte: Portal São Francisco, 2013).

Várias são as propriedades que afetam a erosão dos solos, entre elas, pode-se destacar: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos

agregados e o pH do solo. Apesar da importância que essas propriedades têm na erodibilidade, é preciso reconhecer que elas não são estáticas ao longo do tempo, e que quando analisadas, é preciso relacioná-las a um determinado período de tempo, pois podem evoluir transformando certos solos mais suscetíveis ou menos suscetíveis aos processos erosivos.

A maior ou menor facilidade que as partículas são destacadas e transportadas refletem a aptidão de uma determinada cobertura pedológica para resistir aos esforços ocasionados pelos agentes erosivos. Desta maneira, o fator erodibilidade do solo é genericamente definido como “a suscetibilidade de um solo à erosão” estando basicamente relacionado à textura e estrutura que influenciam a capacidade e velocidade de infiltração das águas pluviais (PAIVA e PAIVA 2003). As areias são consideradas como a fração granulométrica com maiores índices de erodibilidade onde a remoção dos sedimentos é a maior na fração de areia média e diminui nas partículas maiores e menores. Entretanto, dados experimentais apresentados por Paiva e Paiva (2003), mostram que em determinadas condições, as partículas do tamanho do silte são mais erodíveis que as argilas ou areias.

De acordo com Guerra (2005) a textura afeta a erosão, porque algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras. As argilas são mais difíceis de serem removidas principalmente quando se apresentam em agregados, pois dificultam a infiltração das águas. Outra característica importante do solo com relação à erosão é a sua espessura. Solos mais rasos permitem uma rápida saturação dos horizontes superiores favorecendo o aparecimento e a progressão da erosão acelerada embora não atinjam grandes profundidades. Apesar do reconhecimento da importância da textura na erodibilidade dos solos, as percentagens de areia, silte e argila devem ser levadas em consideração em conjunto com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica.

O mesmo autor citado acima afirma que o decréscimo de matéria orgânica, devido à agricultura, possui várias implicações nos processos mecânicos da erosão e enfatiza o estudo de vários pesquisadores sobre a relação entre matéria orgânica e estabilidade dos agregados do solo, ou seja, a matéria orgânica presente nos solos, melhora a estrutura, e conseqüentemente diminuem as taxas de erodibilidade. A matéria orgânica é o melhor agregador, ou agente cimentante do solo, aumentando a estabilidade do solo. A alta estabilidade dos agregados também proporciona maior resistência ao impacto das gotas de chuva.

O primeiro impacto erosivo dos solos é propiciado pela ação mecânica das gotas de chuva, que promovem o arrancamento e deslocamento das partículas terrosas. Essa ação mecânica é exercida por causa da energia cinética das gotas, variável de acordo com o tamanho e a velocidade das mesmas. Em geral, as gotas atingem a velocidade terminal, qualquer que seja o diâmetro delas, quando a distância percorrida ultrapassa oito metros (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Vários são os tipos de erosão, mas os principais podem ser citados:

3.1.1 Erosão em Lençol

A erosão em lençol é também conhecida por erosão laminar. Ela recebe esse nome, porque o escoamento superficial, que dá origem a esse tipo de erosão, distribui-se pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais. Essa forma de escoamento ocorre, quase sempre, sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas depressões e irregularidades, satura. Quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva gerada por esse fluxo (GUERRA, 2005).

3.1.2 Erosão Linear

É caracterizada pela formação de canais de frequência e dimensões variáveis, conforme as características da chuva, do relevo e do solo cuja ocorrência se dá principalmente em solos recém-cultivados. Uma vez que ocorre a acumulação de água em canais estreitos por curtos períodos, há a remoção de solo desses canais desde a superfície até profundidades consideráveis, variando de 0,5m até 25,0m (SILVA *et al.*, 2007).

3.1.3 Erosão em Ravinas

Em geral, as erosões em sulcos ou ravinas são diferenciadas entre si, pela profundidade do evento. Apresentam forma de canal, originadas pelo escoamento concentrado pelas águas superficiais (SALOMÃO, 2002).

De acordo com Silva *et al.* (2007), nesse tipo de erosão, a remoção e o transporte de partículas são feitos pela enxurrada concentrada em alta velocidade e as ravinas são formadas quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta, tornando o fluxo turbulento, e aí a incisão começa a acontecer no topo do solo. A maior parte dos sistemas de ravinas é descontínua, isto é, não tem nenhuma conexão com a rede de drenagem fluvial.

3.1.4 Erosão em Voçorocas

De acordo com Bertolini e Lombardi Neto (1990), a voçoroca é a forma avançada da erosão, ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo, e formando grandes cavidades em extensão e em profundidade. Exemplos de literatura mundial são citados com voçorocas de mais de uma centena de metros de comprimento e atingindo dezenas de metros de profundidade e dessa forma, ocasionando a instabilidade da paisagem. O desmatamento, o uso agrícola da terra, o superpastoreio e as queimadas, quase sempre, são responsáveis diretos pelo surgimento de voçorocas, associados com o tipo de chuva e as propriedades físico-químicas do solo.

Segundo Guerra, (2005), poucos estudos têm sido feitos em todo o mundo para estimar qual a participação das voçorocas no transporte total de sedimentos de uma determinada área. Embora as voçorocas possam ser responsáveis pela remoção de grandes quantidades de sedimentos, Machado (2002), destaca que a área ocupada por voçorocas, em uma determinada região, raramente ultrapassa 15% da área total. No entanto, onde elas ocorrem, podem destruir completamente a paisagem.

De acordo com Machado (2002), a pesquisa sobre erosão vem sendo desenvolvida intensivamente sob vários pontos de vista em todas as partes do mundo. Isto é, o tema erosão vem sendo pesquisado no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de áreas como hidrologia, pedologia, agronomia, dentre outras.

3.2 Descarga Sólida

A distribuição longitudinal do sedimento nos cursos d'água é melhor expressa em termos de produção de sedimento, considerando um valor médio da descarga sólida em relação à área de drenagem da bacia contribuinte. O transporte de sedimento se processa numa seção transversal dependendo da profundidade, largura, velocidade, declividade, temperatura, turbulência, da descarga líquida, granulometria, densidade, forma e coesão das partículas das margens e do leito, da geologia, climatologia, topografia, solos, subsolo e cobertura vegetal da área de drenagem. Devido a estudo sobre hidrossedimentologia, percebe-se que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando e diminuindo de tamanho, passando a areia grossa, média e fina gradativamente para jusante do curso d'água (CARVALHO, 2008).

A medição desses sedimentos é feita na seção transversal do curso d'água. Os diversos métodos de medição de sedimento ou descarga sólida são por medições diretas, *in situ*, e medição indireta. Para obter valores de descarga sólida, deve ser precedida da medição de vazão e de outras grandezas durante a medição de descarga sólida, conforme a metodologia adotada. Portanto a medição da vazão quanto a da descarga sólida são valores considerados instantâneos que se inter-relacionam.

O rio transporta sempre uma maior carga de sedimento em suspensão o que representa mais de 90% da descarga sólida total.

Nesse estudo, para obtenção da concentração de sedimento e, conseqüentemente, da descarga sólida total do rio foi adotado a medição da descarga sólida em suspensão de forma indireta.

Conforme Carvalho (2008), a amostragem de sedimento é efetuada com o objetivo de obter amostras representativas na seção transversal do curso d'água, bem como definir o tipo e a quantidade de material que é transportado no momento da amostragem. De forma geral a amostragem pode ser feita pelo método pontual ou por integração na vertical. A pontual é usada em medições diretas e indiretas enquanto que a integração na vertical é usada só em medições indiretas. Na amostragem por integração na vertical, segundo Carvalho (2008) e Cemig (1965) há estudos que levaram em conta questões práticas e econômicas, obtendo o número e a locação das verticais de amostragem numa medição de descarga sólida, sendo que as quantidades de verticais numa amostragem são usualmente embasadas nos métodos: Igual Incremento de Largura (IIL), e Igual Incremento de Descarga (IID).

De forma geral no método IID, antes de aplicar esse método é necessário realizar medição de vazão para conhecer as velocidades e profundidades da seção transversal de interesse, pois assim sendo, a seção é dividida em parcelas de mesma vazão ou descarga líquida, e em cada uma dessas a água é amostrada no centro, passando a ser considerada como concentração média da parcela.

No método de IIL, resumidamente o curso d'água é dividido em segmentos igualmente espaçados, sendo a amostragem realizada em uma vertical, localizada no centro de cada segmento.

Segundo Carvalho (2008), das verticais ou segmentos escolhidos procura-se a que apresenta o maior valor entre o produto velocidade x profundidade, que será a primeira amostra e

também de onde obterá o tempo mínimo de amostragem. As demais amostras serão coletadas na mesma velocidade de trânsito (velocidade de subida e descida do amostrado), e assim, terão volumes diferentes que serão colocados em uma única amostra.

A medição indireta da concentração é feita com equipamentos que coletam amostras de água do rio e levados para análise em laboratórios. Os equipamentos mais utilizados no Brasil são: DH-48, DH- 59, D-49, P-46 e o amostrador de saca. Atualmente, há pesquisas que empregam o coletor automático de água, o qual coleta a água pontualmente na seção medidora (CARVALHO, 2008).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A modelagem distribuída da produção e transporte de sedimento torna-se importante na gestão ambiental, pois permite localizar espacialmente as áreas com processos erosivos mais acentuados favorecendo a tomada de decisões locais mais eficientes. A modelagem permite estimar quantitativamente a variação na carga de sedimento provocada por alterações no uso do solo, permitindo prever o impacto de modificações na bacia, auxiliando no planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e na definição da frequência das campanhas de medição (SCHULTZ; SOUZA; SANTOS, 2011). Os autores citam que existem atualmente diversos modelos para a predição da erosão hídrica e do transporte de sedimentos de forma integrada, sendo os principais: *Water Erosion Prediction Project* – WEPP (Flanagan e Nearing, 1995); *Watershed Erosion Simulation Program* – WESP (Lopes, 1987); *Kinematic Runoff e Erosion Model* – KINEROS (Woolhiser, Smith e Goodrich, 1990); *Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*- CREAMS (Knisel, 1980); *Simulator of Water Resource in Rural Basin*- SWRRB (Arnol e Williams, 1987); e *Soil and Water Assessment Tool*- SWAT (Arnold *et al.*, 1998).

Algumas considerações sobre os modelos hidrossedimentológico:

KINEROS – *Kinematic Runoff e Erosion Model* (Woolhiser, Smith e Goodrich, 1990) é um modelo semi-conceitual, orientado a evento, que descreve os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão em pequenas bacias urbanas e rurais. A bacia é representada por uma cascata de planos e de canais; as equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo nos planos, o fluxo nos canais, a erosão e o transporte do sedimento são resolvidas pelo método das diferenças finitas. A variação espacial da precipitação, da infiltração, do escoamento, e dos parâmetros da erosão pode ser considerada. Este modelo pode ser usado para determinar os efeitos, no hidrograma e no sedimentograma de uma seção qualquer, de possíveis mudanças nas características da bacia, tais como: urbanização de uma área, construção de reservatórios, desmatamento, etc. (ZANETTI, 2007).

O modelo KINEROS incorpora ao modelo hidrológico de Rovey *et al.*, (1977) os componentes de erosão, transporte e deposição (SANTOS, 2009). É um modelo de eventos, distribuído, não linear, onde a bacia é representada por planos retangulares, canais e elementos de armazenamento. O modelo utiliza a equação da continuidade de sedimentos (BENNETT, 1974) e calcula o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva através da equação de

Wischmeier (MEYER , WISCHMEIER e SMITH, 1969). Neste, a infiltração é modelada através da equação de Smith-Parlange (SMITH *et al.*, 1993).

Silva (2002) cita que o KINEROS é um modelo físico, orientado a eventos, que descreve os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão em pequenas bacias agrícolas e urbanas. A bacia é dividida em um conjunto de encostas e canais. As equações diferenciais parciais que descrevem o escoamento superficial são resolvidas por meio de técnicas de diferenças finitas, sendo que a variabilidade espacial dos parâmetros relativos à infiltração pode ser analisada. A grande complexidade do KINEROS está associada à maior exigência de dados requeridos por este modelo (GOODRICH *et al.*, 2000) e a necessidade de divisão da bacia em um conjunto de encostas, o que restringe a aplicação deste modelo. O conjunto de encostas considerado é interceptado por canais, orientados de tal forma que o escoamento unidimensional é assumido. Encostas irregulares podem ser simuladas pela composição de encostas regulares, permitindo a análise de áreas não-uniformes. O escoamento superficial é então simulado para a rede de elementos, culminando em um hidrograma na seção de deságüe da bacia. A seguir, são descritos os processos relativos ao escoamento superficial considerado (GOODRICH *et al.*, 2000):

- Precipitação: o modelo requer informações no formato lâmina/tempo acumulado, que são convertidas em intensidade de precipitação;

- Interceptação: a lâmina total interceptada pela cobertura vegetal pode ser especificada para cada encosta geradora de escoamento superficial, baseada na vegetação ou em outra condição de superfície;

- Infiltração: o modelo de infiltração do KINEROS está baseado em uma solução aproximada da equação de escoamento não saturado;

- Escoamento superficial: quando a intensidade de precipitação torna-se superior à capacidade de infiltração, ocorrendo o empoçamento, e o armazenamento superficial está preenchido, inicia-se o escoamento superficial. O modelo de ondas cinemáticas é usado para simular o escoamento superficial; e

- Escoamento no canal: o escoamento em canais também é representado pelo modelo de ondas cinemáticas. Os segmentos dos canais podem receber contribuição lateral de encostas em um ou em ambos os lados do canal, ou contribuições de um ou dois canais. As dimensões das

encostas são estipuladas de forma a englobar toda a bacia; desta forma a precipitação no canal não é considerada diretamente (SILVA, 2002).

AGNPS - *Agricultural Non-Point-Sources Pollution Model*. Foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service - ARS* do *United States Department of Agriculture - USDA* em cooperação com a Agência de Controle de Poluição de Minnesota e o *Soil Conservation Service - SCS* (YOUNG *et al.*, 1989). Tem o objetivo de analisar e estimar a qualidade da água escoada em áreas rurais com tamanho até de 200 km². O modelo simula escoamento superficial, transporte de sedimento e nutrientes de bacias rurais. Os nutrientes considerados são o fósforo e o nitrogênio, que são essenciais para as plantas e maiores responsáveis pela poluição superficial. Adicionalmente, o AGNPS considera as fontes pontuais de nutrientes, sedimentos e demanda química de oxigênio (YOUNG, *et al.* 1989). O modelo visa estimar a quantidade do escoamento em bacias agrícolas com ênfase no sedimento e nutrientes, comparando os efeitos de várias alternativas de conservação de solo. O volume de escoamento superficial e a vazão de pico são calculados pelo hidrograma triangular do *Soil Conservation Service - SCS* e a perda de solo é calculada pela Equação Universal de Perdas de Solo - MUSLE, que é um modelo de previsão de sedimentos aplicável a eventos de chuva individual (MINOTTI, 2006).

Segundo Machado (2002), o modelo AGNPS é modelo distribuído, baseado em eventos e simula o escoamento superficial, sedimentos e transporte de nutrientes em bacias hidrográficas agrícolas. Esse modelo foi desenvolvido para prever o impacto da agricultura na quantidade das águas superficiais e subterrâneas.

Segundo Young *et al.* (Young *et al.*, 1994, 1987) o modelo foi projetado para prever o volume de escoamento superficial, a vazão máxima, bem como o transporte de sedimentos e de nutrientes em bacias de dimensões médias a grandes. O principal objetivo do AGNPS foi descrever processos de transporte relacionados a fontes de poluição não pontuais dentro de uma área usando algoritmos empíricos, tendo um módulo hidrológico como componente básico. O modelo calcula a lâmina de escoamento superficial para cada célula usando método do curva número. O escoamento superficial de cada célula se processa pela bacia considerando as direções de escoamento, até atingir a seção de deságüe.

Souto (1998) utilizou o modelo na previsão dos processos erosivos em microbacias hidrográficas no Estado do Paraná. De acordo com o autor, o modelo foi desenvolvido para a obtenção de estimativas de quantidade e qualidade do escoamento superficial, com ênfase nos

nutrientes, pesticidas e sedimentos, e de impactos na qualidade da água em bacias de até 20.000ha. A aplicação do AGNPS, utilizando-se microcomputador e Sistemas de Informações Geográficas, ocorre em três estágios, baseados em 23 parâmetros de informação para cada célula. Os cálculos iniciais são realizados no primeiro estágio. Eles incluem estimativas da erosão do solo, volume e tempo do fluxo de escoamento superficial, nível de poluentes solúveis que deixam a bacia, além de sedimentos e do escoamento superficial que deixam os terraços. No segundo estágio, calcula-se o volume de escoamento superficial que deixa a célula com terraços e a produção de sedimentos para a célula primária. O fluxo de sedimentos e nutrientes através da bacia se realizam no terceiro estágio. Na simulação, o modelo trabalha com um simples evento de base, presumindo que os padrões de precipitação sejam uniformes. Os componentes básicos do modelo incluem: hidrologia, erosão, transporte químico e sedimentos (SOUTO, 1998).

Souto e Crestana (2000) fizeram 4 simulações com o AGNPS para identificar áreas potenciais não pontual e avaliar práticas conservacionistas de solo em uma microbacia do estado do Paraná, e chegaram a identificar áreas com potencial para produção de sedimentos e dos percentuais gerados relacionados a cobertura do solo, comprimento do declive e declividade, e também conseguiram verificar a influência das modificações das técnicas de cultivo na redução da produção de sedimentos.

Fragoso (2008) realizou modelagem na bacia do Córrego Capão Comprido, utilizando o AGNPS e não obteve bons resultados. Lopes (2010) comparou os valores encontrados em sua pesquisa com Fragoso (2008) e percebeu grande dificuldade na modelagem, concluindo que o modelo AGNPS deveria apresentar resultados melhores.

WESP - Watershed Erosion Simulation Program (Lopes, 1987) é um modelo distribuído, físico, orientado a evento, desenvolvido para ser utilizado na simulação do escoamento e da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas, onde o fluxo superficial é predominantemente Hortoniano. A bacia é representada por um conjunto de planos e canais, com os planos contribuindo com o fluxo lateral para os canais. A definição dos planos deve ser baseada nas características de solo, declividade e cobertura vegetal. Os limites dos planos devem ser linhas de fluxo ou linhas de contorno. As equações de continuidade para o escoamento superficial e para o transporte de sedimentos são resolvidas numericamente usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos (PAIVA, 2008).

Segundo Santos (2009) o modelo WESP utiliza a componente hidráulica do modelo KINEROS e as técnicas de modelagem desenvolvidas no âmbito do projeto WEPP. Neste modelo, a bacia também é discretizada através de um sistema de planos de escoamento que descarregam em canais de drenagem. É um modelo distribuído, que simula eventos de chuva, e foi elaborado para ser aplicado às pequenas bacias nas regiões semi-áridas. O modelo só considera perda de água por infiltração não sendo considerada a evaporação. O excesso de infiltração é dado pela equação de Green e Ampt (1911) com tempo de empoçamento calculado para uma chuva não permanente (CHU, 1978). A simplificação pela onda cinemática foi empregada para a equação da quantidade de movimento. O modelo considera erosão por impacto das gotas de chuva e pelo fluxo superficial. Estes processos são considerados não permanentes e variados e são descritos dinamicamente utilizando taxas de erosão e deposição, simultaneamente, ao invés da abordagem convencional onde são utilizadas funções de transporte de sedimentos para fluxo permanente.

WEPP -*Water Erosion Prediction Project* (Flanagan e Nearing, 1995) teve como objetivo elaborar uma tecnologia para a conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos resultantes de práticas de manejo de terras para produção agrícola, pastagens e áreas florestais. O WEPP inclui os processos hidrológicos fundamentais de precipitação, infiltração e escoamento superficial, além dos processos erosivos básicos de desprendimento, transporte e deposição, tanto em vertentes, como em bacias hidrográficas (FLANAGAN *et al.*, 1995).

WEPP é um modelo distribuído, que simula um evento individual ou vários eventos de forma contínua, capaz de estimar a erosão ou a deposição de solo numa bacia. Este modelo é baseado nos princípios físicos dos processos inerentes à erosão do solo (física do solo, crescimento de plantas, infiltração e hidráulica do escoamento). Este modelo também considera os efeitos das mudanças de uso do solo e também modela a variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam os processos hidrológicos e da erosão que ocorrem em uma encosta (PAIVA, 2008).

Santos (2009), o modelo WEPP é conceitual, e considera a física do solo, a ciência das plantas e a mecânica da erosão. Ele inclui componentes para planos, canais e irrigação. A infiltração é baseada na equação de Green e Ampt e o escoamento nos canais é tratado através da modificação da componente de escoamento concentrado do modelo CREAMS (KNISEL, 1980).

O modelo WEPP pode ser dividido, conceitualmente, em seis componentes: (i) climático, com o qual, por meio de um algoritmo baseado na cadeia de Markov de estágio duplo,

considerando-se dados históricos, são gerados dados climáticos para uma localidade específica; (ii) hidrológico, baseado na equação de Green-Ampt; (iii) crescimento de plantas; (iv) solos; (v) erosão/deposição; e (vi) irrigação (FLANAGAN *et al.*, 1995). As saídas do modelo consistem de informação resumida de volume de escoamento e erosão, as quais podem ser a cada evento, mensal, anual ou média anual. Estimativas integradas no tempo de escoamento, erosão, entrega de sedimentos estão nesta saída, bem como a distribuição espacial da erosão (BYNE, 2000).

Zanetti (2008) identificou que o WEPP apresenta algumas limitações, dentre as quais pode-se citar: o grande número de parâmetros de entrada necessário para aplicação do modelo, podendo limitar sua utilização em situações onde existam poucos dados; a necessidade de treinamento intensivo de pessoal para a efetiva implementação do modelo; e não poder ser aplicado para prever a erosão em voçorocas. Embora seja considerado um modelo com base física, o WEPP ainda contém certo grau de empirismo, necessitando serem tomados alguns cuidados na aplicação do modelo em novos locais (LAFLEN *et al.*, 1991; MERRIT *et al.*, 2003).

SWAT – Soil Water Assessment Tool (Arnold *et al.*, 1998) -Garbossa *et al.*(2011) realizou uma pesquisa e constatou que a utilização do SWAT no Brasil iniciou em 1999 e a partir daí não parou de utilizar o modelo. No período da sua pesquisa, o autor acima citado, localizou 70 publicações, dentre artigos e dissertações que estudassem o SWAT. No mesmo estudo, ele mencionou que há diversas instituições que disponibilizam dados que servem de entrada para o modelo, sendo elas: ANA (Agência Nacional de Águas), ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Neitsch *et al.* (2005), o modelo SWAT é uma evolução direta da junção dos simuladores: *Simulator for Water Resources in Rural Basins – SWRRB* (Arnold *et al.*, 1990 e Williams *et al.*, 1987) com o *Routing Outputs to Outlet – ROTO* (Arnold *et al.*, 1995a). O SWRRB foi designado para simular o impacto da água e o movimento do sedimento em bacias rurais não monitoradas nos USA. O desenvolvimento do SWRRB começou no início de 1980 com modificação do modelo de hidrologia chuva diária de *Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems- CREAMS* (Knisel, 1980). Uma melhoria importante foi a expansão da superfície de escoamento e outros cálculos para mais de dez sub-bacias, em um único campo, para prever o rendimento da água na bacia. Outras melhorias incluem uma taxa de escoamento de pico maior, o cálculo das perdas de transmissão, e a adição de vários novos

componentes: fluxo de retorno de águas subterrâneas, reservatório de armazenamento, o crescimento de cultura e transporte de sedimentos (ARNOLD e ALLEN, 1993). Estas modificações estendeu a capacidade do modelo SWRRB para lidar com a grande variedade de problemas de gestão da qualidade da água de bacias hidrográficas. Arnold *et al.* (1995b) desenvolveu as saídas para o modelo ROTO a fim de apoiar uma avaliação do impacto a longo prazo da gestão da água dentro de terras da reserva indígena no Arizona e Novo México, como solicitado pelo os EUA. A análise foi realizado ligando a saída de várias execuções do SWRRB e, em seguida, encaminhar os fluxos através de canais e reservatórios no ROTO.

Salles (2012) realizou simulações de vazão pelo modelo SWAT alterando os parâmetros até o momento em que as avaliações gráfico-visuais (curva de permanência e hidrogramas) e, principalmente, as estatísticas que avaliam a qualidade da simulação fossem satisfatórias. Tendo que antes da calibração pelo SWAT os valores foram não satisfatórios e após apresentaram valores satisfatórios a muito bons.

Em seus relatos, Andrade (2011) mostra que o modelo hidrológico SWAT possibilitou a simulação hidrológica com êxito para a bacia hidrográfica do Ribeirão Jaguará e gerou uma série de vazões sintéticas, baseados nos bons resultados do modelo, tanto na calibração quanto na validação, permitindo assim, uma boa precisão nas estimativas das vazões.

Em seus estudos, Lino (2009) aplicou o modelo SWAT na Bacia Hidrográfica do Rio Preto (SC) concluiu que o SWAT permitiu modelar a dinâmica hidrossedimentológica reproduzindo o escoamento superficial e a produção de sedimento na área de estudo, adequando o escoamento total simulado aos dados de vazão medidos.

Minotti (2006) afirma que a aplicação do modelo conceitual SWAT foi possível estimar a perda de solo por erosão na região de áreas alagáveis do Rio Mogi-Guaçu e entorno, desde a criação do SWAT no início da década de 1990, o modelo tem sido continuamente aprimorado, resultando em novas versões: SWAT 94.2, SWAT 96.2, SWAT 98.1, SWAT 99.2, SWAT 2000, SWAT 2005 e a mais recente SWAT 2009. Além dessas modificações, foi desenvolvida, também, interface no Windows (Visual Basic) com o ArcView - ArcView versão 3.1 (com extensão Arc View Spatial Analyst v.1.1) (Esri. 1998). Ao utilizar a interface com o ArcView o simulador passa a ser denominado de Arc View Soil Water Assessment Tool - AVSWAT (Neitsch *et al.*, 2002a).

Em sua dissertação Baldissera (2005) demonstrou que apesar de alguma limitação, o modelo SWAT mostra uma coerência nos dados simulados em relação aos observados.

Em seus estudos sobre os modelos hidrológicos, Abbaspour (1997) menciona que para utilizar as saídas referentes aos resultados primários da simulação hidrológica, é necessária muita atenção na confiabilidade dos dados, pois terão de ser calibrados e validados em relação aos dados observados. O mesmo autor faz um histórico sobre o modelo hidrológico Soil Water Assessment Tools demonstrando que o modelo é útil para simular vazão, sedimento e qualidade da água, porém dependente da qualidade dos dados de entrada.

Srinivasan e Arnold (1994) mencionam que o SWAT foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimento e cargas poluidoras em bacias hidrográficas agrícolas. No mesmo sentido, Peterson e Hamlett (1998) cita que o modelo permite uma grande flexibilidade na configuração de bacias hidrográficas.

5. ÁREA DE ESTUDO

5.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS) é uma bacia semi-urbana localizada ao norte do município de Goiânia (Figura 2).

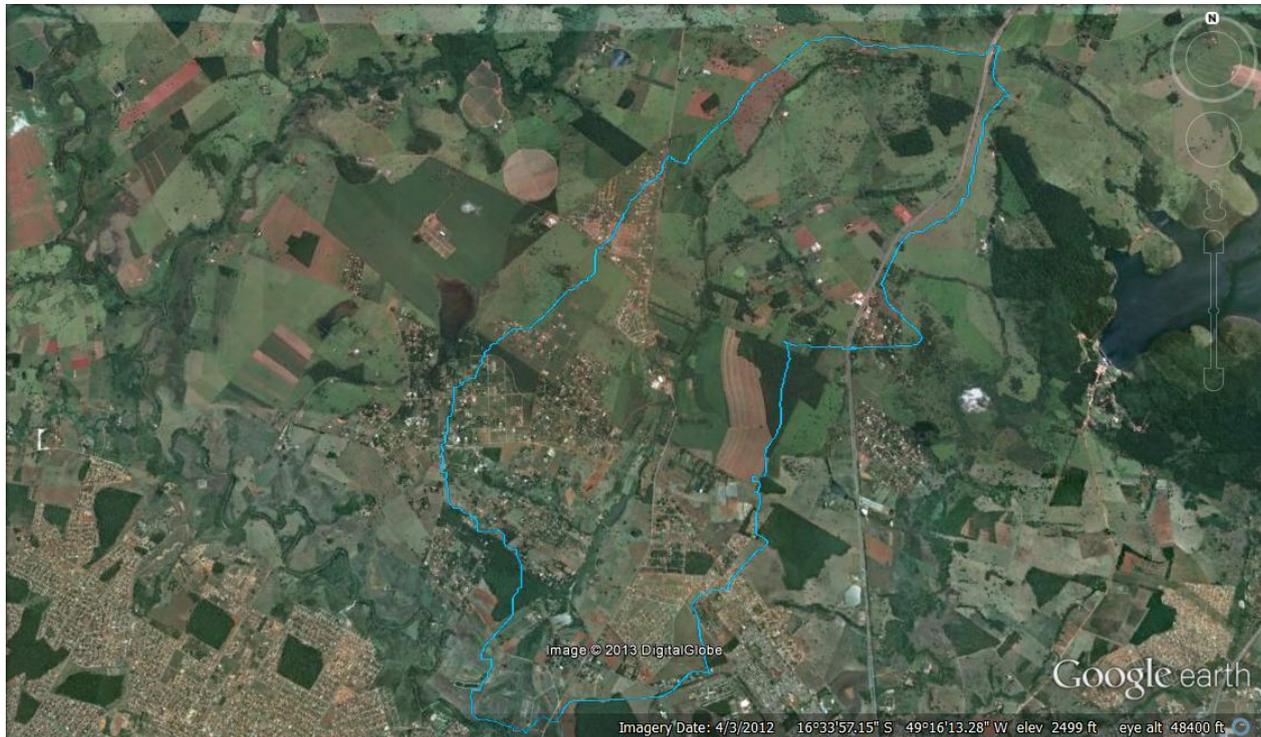


Figura 2 - Delimitação da BHCS (Fonte: imagem do Google Earth).

A BHCS tem área de drenagem de $31,745 \text{ km}^2$ (ou $3174,500 \text{ ha}$) com perímetro de $35,01 \text{ km}$, declividade média da bacia de 3% (Figura 3) e os canal principal tem $10,27 \text{ km}$ de comprimento.

Segundo Souza *et al.* (2013) a bacia do Córrego Samambaia é uma bacia de pequeno porte, com forma alongada, que pode ser comprovado pelos valores obtidos quanto ao coeficiente de compacidade (1,45), fator de forma (0,037), e índice de circularidade (0,46) (Tabela 1), não favorecendo a inundação quando esses parâmetros são considerados isoladamente e em condições normais de precipitação. Com relação à declividade média encontrada para a bacia o valor foi de $2,93\%$, caracterizando o relevo como plano e com baixa capacidade de drenagem, comprovada pela densidade de drenagem igual a $0,695 \text{ km/km}^2$.

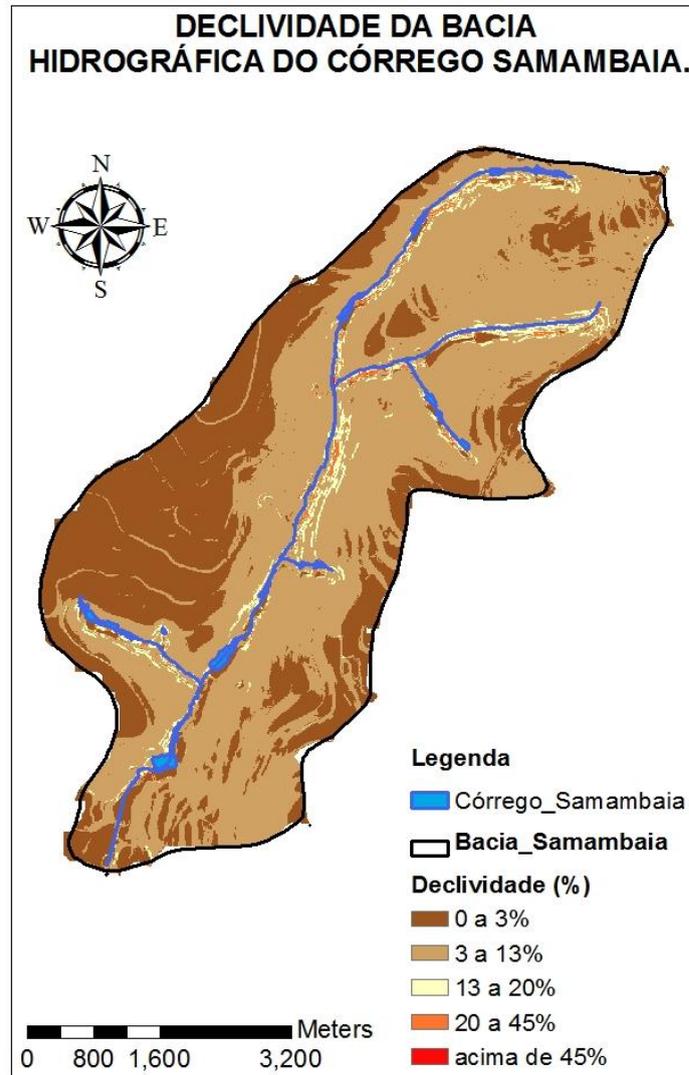


Figura 3- Mapa de declividade da bacia.

Tabela 1 – Características da bacia hidrográfica do córrego Samambaia (Fonte: Souza *et al.*, 2013).

Características Físicas	Unidade de Medida	Resultados
Área de drenagem	km ²	31,745
Perímetros	km	35,01
Comprimento do rio principal	km	10,27
Comprimento total dos canais	km	22,74
Coefficiente de compacidade	--	1,45
Índice de circularidade	--	0,46
Fator de forma	--	0,037
Declividade média da bacia	m/m	0,0293
Declividade média do rio principal	m/m	0,0114
Densidade de drenagem	km/km ²	0,695
Altitude média da bacia	m	775

O estudo da área abrange a delimitação da bacia hidrográfica utilizando o Argis, através do modelo de elevação do terreno obtido no site do SIEG (SIEG, 2013).

Foram adquiridas por meio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) imagens do satélite Landsat-5 sensor TM (Thematic Mapper) o qual produz imagens com 30 metros de resolução espacial. Foram adquiridas imagens do ano de 2009 as quais foram registradas (georreferenciadas) utilizando a base de dados do mosaico Geocover que disponibiliza imagens obtidas no ano 2000 pelo sensor ETM+, que está a bordo do sensor Landsat-7. A base de dados Geocover é formada por um mosaico de imagens padronizadas e corrigidas geometricamente para toda a superfície do planeta. Após o processo de registro geométrico as imagens foram recortadas utilizando o limite geográfico da bacia hidrográfica gerada por meio do processamento dos dados de relevo TOPODATA. Em seguida, procedeu-se à classificação digital das imagens através do software ENVI (Figura 4), com o objetivo de separar as áreas de agricultura, pastagem, vegetação nativa remanescente, perímetro urbano e hidrografia.

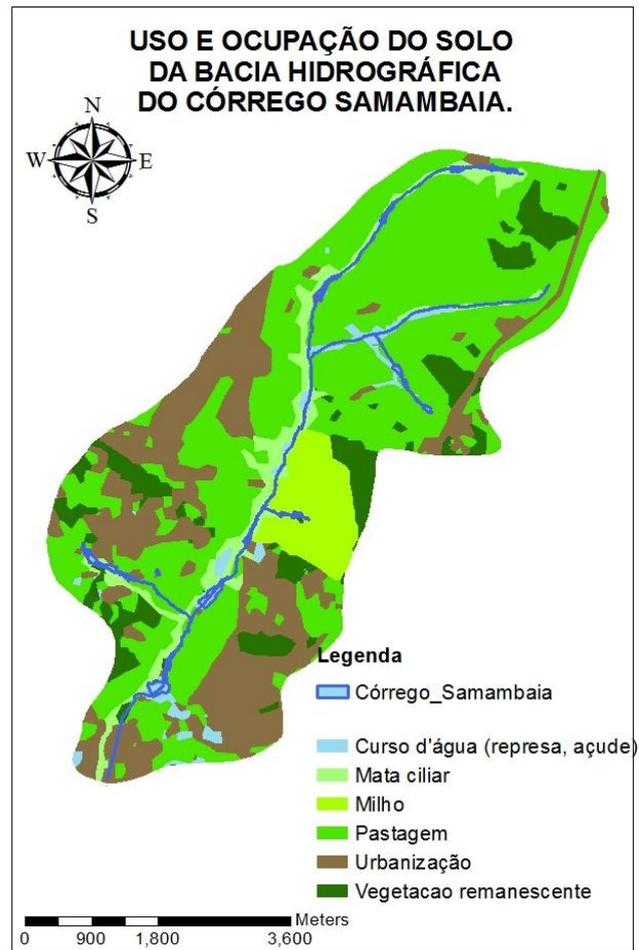


Figura 4 - Classificação supervisionada da Bacia do Samambaia. (Fonte: o autor).

A seção medidora de vazão e sedimento está localizada na Latitude $16^{\circ}34'11,2''$ e Longitude $49^{\circ}15'56,4''$, onde o Córrego Samambaia cruza a rodovia estadual GO 080 (Figura 5).



Figura 5 - Seção medidora no período seco (Fonte: o autor).

Nas Figuras 5 e 6 ilustram os níveis do córrego no período seco (Abril a Setembro) e após esse período, respectivamente. No período chuvoso, a altura da lâmina d'água não excedeu a calha do córrego, porém o acesso aos equipamentos instalados dentro da água foi excessivamente dificultado.



Figura 6- Seção medidora no período chuvoso (Fonte: o autor).

Na Tabela 2, verifica-se que a bacia hidrográfica é ocupada em sua maioria por pastagem, sendo que a área habitada pelo homem (foi considerado como ocupação humana a classificação denominada urbanização que engloba as construções civis, rodovia que passa dentro da bacia, ou seja, tudo que esteja com solo impermeável) é a segunda em maior ocupação, e na sequência posterior é ocupada pela vegetação remanescente e mata ciliar.

Tabela 2- Uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia.

Descrição	Área ocupada na bacia (ha)	Porcentagem da área (%)
Pastagem	1637.998	51.60
Urbanização	765.2405	24.11
Vegetação remanescente	294.8371	9.29
Mata ciliar	200.3114	6.31
Plantação de milho	181.6728	5.72
Curso d'água (córrego e represa)	94.4278	2.97

A Figura 7 ilustra o uso e ocupação do solo em cada sub-bacia, onde pelo Tabela 3 percebe-se que a pastagem está presente na maioria delas sendo que a urbanização segue logo após, corroborando com a informação acima fornecida em que a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia é uma bacia semi-urbana.

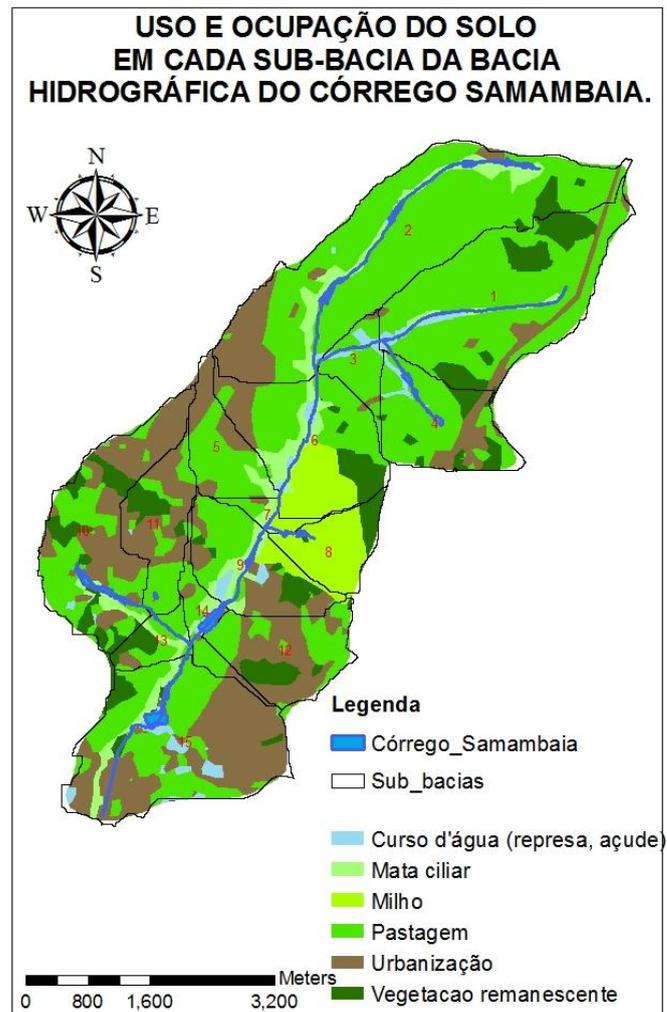


Figura 7- Mapa de Uso e Ocupação do Solo em cada Unidade de Resposta Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia. (Fonte: o autor).

Pela figura acima e tabela abaixo verifica-se que a bacia é decomposta em 15 sub-bacias levando em consideração múltiplas unidades de resposta hidrológica tendo como preponderante a quantidade máxima de HRU, ou seja, foi gerado o maior número possível de HRU, sendo no total de 315.

A bacia hidrográfica não é tão heterogênea quanto ao tipo de solo, pois o latossolo ocupa a quase totalidade em área da mesma (Tabela 4 e Figura 8).

Tabela 3- Uso e ocupação do solo para cada sub-bacia com suas respectivas áreas ocupadas na BHCS.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	SUB BACIA	ÁREA (ha)	% DA ÁREA
Vegetação remanescente	1	65.0996	14.43
Mata ciliar		10.3863	2.3
Curso d'água (represa,lago...)		12.5134	2.77
Urbanização		31.7483	7.04
Pastagem		333.27	73.85
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	2	15.8986	2.57
Mata ciliar		62.4925	10.09
Curso d'água (represa,lago...)		3.0451	0.49
Urbanização		79.5444	12.84
Pastagem		459.1776	74.11
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	3	0.3704	0.57
Mata ciliar		0	0
Curso d'água (represa,lago...)		9.6221	14.83
Urbanização		2.2809	3.52
Pastagem		131.814	82.21
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	4	29.0105	17.50
Mata ciliar		0	0
Curso d'água (represa,lago...)		2.1088	0.28
Urbanização		303.7377	66.01
Pastagem		30.1874	16.21
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	5	0	0
Mata ciliar		8.1776	7.45
Curso d'água (represa,lago...)		0.0419	0.04
Urbanização		35.8325	32.66
Pastagem		162.5741	59.97
Cultura anual: milho		0.5412	0.2
Vegetação remanescente	6	30.1151	10.67
Mata ciliar		35.3945	12.54
Curso d'água (represa,lago...)		5.8432	2.07
Urbanização		29.8588	10.58
Pastagem		283.0179	40.57
Cultura anual: milho		168.763	24.19
Vegetação remanescente	7	0.0466	0.17
Mata ciliar		6.9405	24.96

Curso d'água (represa,lago...)		1.7613	6.34
Urbanização		19.9828	29.09
Pastagem		27.87	40.57
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	8	15.4862	15.33
Mata ciliar		0.5615	0.56
Curso d'água (represa,lago...)		0	0
Urbanização		0	0
Pastagem		0	0
Cultura anual: milho		83.8662	83.02
Vegetação remanescente	9	19.1231	10.72
Mata ciliar		25.2062	14.13
Curso d'água (represa,lago...)		8.0215	4.5
Urbanização		50.3961	28.25
Pastagem		148.6477	33.72
Cultura anual: milho		43.2011	9.8
Vegetação remanescente	10	47.7704	15.46
Mata ciliar		13.026	4.22
Curso d'água (represa,lago...)		51.0768	6.69
Urbanização		136.4547	44.16
Pastagem		220.0816	28.82
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	11	19.6147	14.12
Mata ciliar		0	0
Curso d'água (represa,lago...)		0.1677	0.12
Urbanização		68.8296	49.55
Pastagem		51.8732	37.34
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	12	22.506	13.33
Mata ciliar		0.1165	0.07
Curso d'água (represa,lago...)		0.7595	0.45
Urbanização		79.104	46.86
Pastagem		160.4728	38.47
Cultura anual: milho		1.3069	0.31
Vegetação remanescente	13	14.2747	26.41
Mata ciliar		7.2434	13.4
Curso d'água (represa,lago...)		0	0
Urbanização		4.1331	7.65
Pastagem		29.0085	53.67
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	14	0.4962	0.87

Mata ciliar		6.4046	11.17
Curso d'água (represa,lago...)		4.5734	7.98
Urbanização		12.5647	2192
Pastagem		83.8346	59.19
Cultura anual: milho		0	0
Vegetação remanescente	15	19.0229	4.47
Mata ciliar		24.3605	5.73
Curso d'água (represa,lago...)		23.0605	5.42
Urbanização		202.5397	47.64
Pastagem		375.3442	35.73
Cultura anual: milho		0	0

Tabela 4- Solos predominantes na bacia hidrográfica.

Descrição	Área ocupada na bacia (ha)	Porcentagem da área (%)
Cambissolo	13.1985	0.42
Gleissolo	106.9949	3.37
Latossolo	3018.8877	95.10
Argissolo	35.4064	1.12

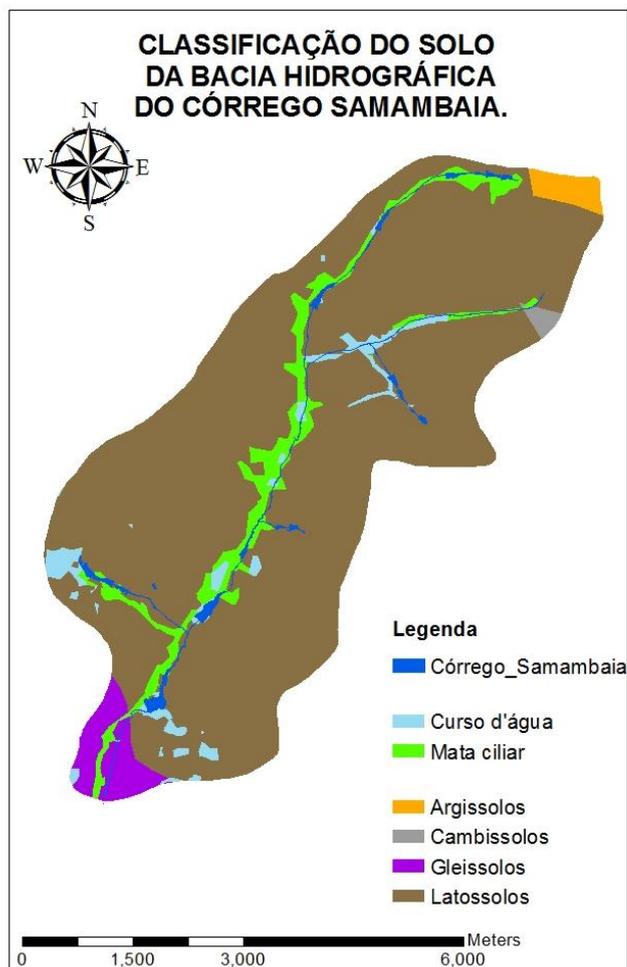


Figura 8- Classificação do solo da bacia hidrográfica (Fonte: o autor).

Os Cambissolos, conforme Valentin (2008), são solos que apresentam horizonte sub-superficiais de pouca alteração física e química, porém suficiente para o desenvolvimento de cor e da estrutura. Em regra geral, apresentam minerais primários, facilmente intemperizáveis, teores elevados de silte, indicando baixa grau de intemperização. Conforme Oliveira (2013), os solos Gleissolos são característicos de regiões alagadas ou sujeitas a alagamento (solos hidromórficos), apresentando características de oxi-redução. Os Latossolos são solos tropicais, não hidromórficos, geralmente possuem baixa fertilidade, são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas, normalmente possuem cor vermelhas a vermelho-amareladas. E os Argissolos tem como característica marcante o aumento de argila do horizonte superficial A para o subperifical B, que é do tipo Bt (B textural), geralmente com boa diferenciação de cores entre esses horizontes.

O clima na bacia hidrográfica é característico do tipo AW, segundo a classificação de Koeppen. Clima tropical com uma estação seca e outra chuvosa, em que todos os meses do ano tem temperatura média do ar superior a 18°C e o período chuvoso está entre os meses de Outubro a Abril.

5.2 Medição Fluviométrica

As medições de descarga líquida ou vazão foram realizadas por dois equipamentos, o primeiro será o ADV-Flow tracker (Figura 9) e posteriormente o ADCP-Argonaut (Figuras 10, 11 e 12). A utilização de dois equipamentos é devido a segurança contra vandalismo e dificuldades em instalar o segundo, então para não perder informações iniciais de vazão o ADV foi utilizado.

Para obter proteção contra atos de vandalos e intempéries nos equipamentos de medição de vazão e coletor automático de água então foram necessários fabricar caixas metálicas e amarrá-las na árvore com corda e corrente. Pelo fato do medidor de vazão não possuir fonte externa para alimentação, então foi adaptado uma bateria automotiva.

Na seção foi instalado um medidor de pressão de nível de água (Figuras 13 e 14) que fornece informações do nível de água do Córrego Samambaia a cada 2 segundos, em que os dados médios diários do nível com os dados de vazões serão plotados na curva-chave fluviométrica para obtenção de vazões médias diárias.

O ADV- Flow tracker é um equipamento que mede a velocidade da água pelo efeito Doppler, sendo o perfilhamento da seção feita pelo operador, tendo que dividir em quantas

verticais achar necessárias, sendo o mínimo de 10, dependendo da largura do rio, e utilizar a técnica de 60%, ou 20% e 80%, conforme a profundidade.

Para o cálculo da área da seção, utiliza a técnica de meia-seção e pode ser utilizado com velocidades da água que variam de 0,001 m/s a 4,5m/s, onde o maior fator limitante é a profundidade, pois como é feita “a vau” (dentro do rio) essa pode encobrir o operador do equipamento.

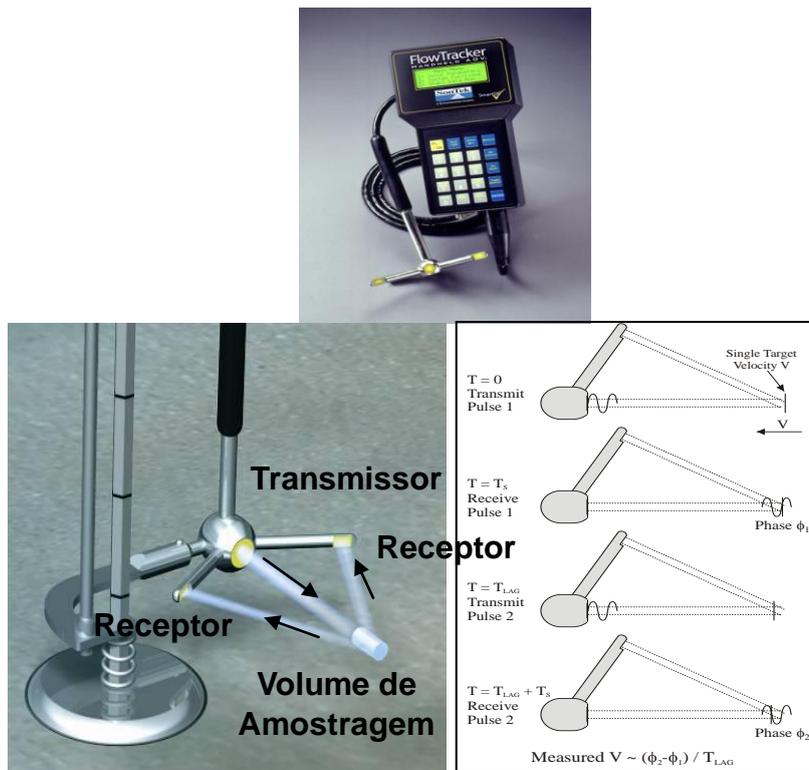


Figura 9 - ADV- Flow tracker (Fonte: HOSKIN SCIENTIFIC, 2013).



Figura 10 - ADCP Argonaut-SW (Fonte: HOSKIN SCIENTIFIC, 2013).

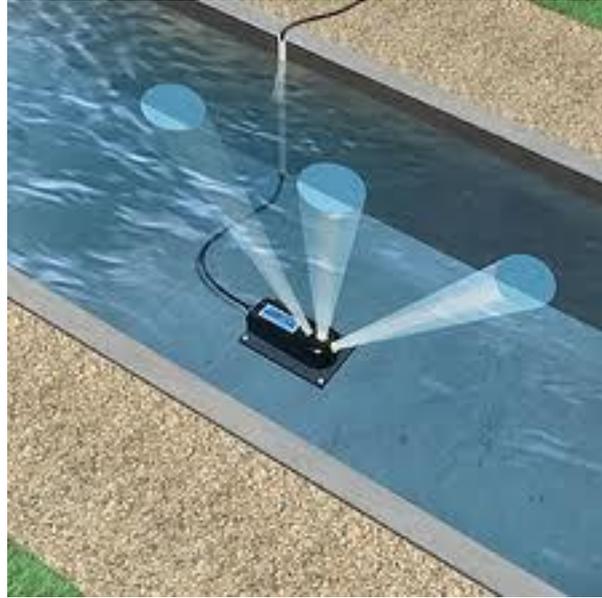


Figura 11 - ADCP Argonaut-SW instalado em canal artificial (Fonte: WATER ONLINE, 2013).



Figura 12 - ADCP Argonaut-SW e instalação adaptada para bateria automotiva. (Fonte: o autor).



Figura 13 - Data logger de nível de água (Fonte: ONSETCOMPBRASIL, 2013).



Figura 14 - Data logger de nível de água (Fonte: o autor).

O ADCP-Argonaut perfila e mede a velocidade da água através do efeito Doppler, sendo programado para coletar dados de vazão de 30 em 30 minutos. Sua vantagem é que pode ser fixado no fundo do rio, obtendo dados a cada 5 minutos ou como ficar programado.

O Argonaut faz a medição da velocidade na vertical onde foi instalado, que é o local mais fundo e centralizado da seção medidora, ou seja, o equipamento faz a medição pontual da velocidade. O usuário deverá inserir o perfil transversal da seção medidora no intuito do software extrapolar os dados obtidos da vertical medidora para as demais verticais que compõe o perfil transversal da seção. Com a obtenção da velocidade média e área da seção, então se tem como saída do programa a vazão média instantânea.

Para medição do nível da água, foi instalado um medidor de nível de água com *data logger*, que é um medidor de nível da pressão da água, em que o valor de pressão é convertido para nível de água em unidades métricas. Esse medidor também conhecido como linígrafo, é ideal para monitorar níveis de água e temperaturas em poços, riachos, lagoas e manguezais (ONSETCOMPBRASIL, 2013).

A rotina dos procedimentos em campo foram: -a cada 7 dias recolher a bateria do ISCO, colocá-la para carregar, retorná-la ao coletor de água; -a cada 15 dias baixar os dados do linígrafo ao computador e reprogramá-lo para que o mesmo retornasse a seção de medição; -para o ADCP o acesso aos dados se davam a cada 15 dias pelo fato de entrar na água para retirar o linígrafo então também coletava os dados de vazão. No período em que não estava obtendo dados de vazão com o ADCP então o Flow-tracker era operado a cada 15 dias.

Iniciou-se a coleta de dados referente a cota no mês de Fevereiro de 2013, no mês de Junho no mencionado ano o ADCP foi instalado, porém nos meses de Setembro e Outubro o medidor de vazão teve problemas na aquisição dos dados, retornando ao pleno funcionamento a partir da segunda quinzena de Outubro. A foto da Figura 15 ilustra de que forma o ADCP ficou após o período completo de funcionamento. Em Setembro o ISCO foi instalado devido as proximidades do período chuvoso na bacia.



Figura 15- ADCP-Argonaut após as medições em 2103. (Fonte: o autor).

5.3 Medição de Descarga Sólida

Pelo fato da evolução científica permitir o invento e a construção dos mais diversos equipamentos para medição da carga sólida (CARVALHO, 2008), então no presente trabalho foi utilizado o equipamento fabricado pela Teledyne Technologies Company de Modelo ISCO 6712, o qual é uma amostrador ou coletor de água (Figuras 16 e 17).



Figura 16 - Amostrador / coletor de amostras (Fonte: TELEDYNE ISCO, 2013)



Figura 17 - Amostrador / coletor de amostras instalado no ponto de medição (Fonte: o autor).

O coletor obtém uma amostra do líquido quando a bomba é acionada, em que o mesmo passa através do tubo de sucção, do filtro indo até as 24 garrafas de amostragem, onde será armazenadas, conforme a programação do usuário. Essas amostras, de 700 mL, serão levadas em laboratório para obtenção do sedimento em suspensão e, por conseguinte a descarga sólida total do córrego.

Os dados de descarga sólida serão plotados com os de vazão para obtenção da descarga sólida no período anterior a instalação do ISCO.

Segundo Lopes (2010), explica que se o ISCO, equipamento automático de coleta, for utilizado em seções largas (com mais de 2 metros de largura) então é necessário uma calibração para a validação das amostras obtidas por esse equipamento, já que o mesmo realiza coletas pontuais de amostras, o que pode não expressar a condição real das concentrações de sedimentos.

Coiado (2001) cita que coletas realizadas com o amostrador automático do tipo ISCO geraram valores de concentrações bem próximos dos encontrados com amostradores convencionais (USDH-48, USDH-59 e outros). O mesmo autor também cita que estudos obtidos por Lobo *et al.* (1999) levou a recomendações da instalação do amostrador automático durante eventos chuvosos pela rapidez da ocorrência e a dificuldade em acertar o horário das chuvas.

A Figura 18 compara visualmente os sedimentos em suspensão coletados nos dias 29/11/2013 e 03/12/2013.



Figura 18 - Comparativo visual das águas coletadas em 29/11/13 e 03/12/13. (Fonte: o autor).

Na Figura 19 encontra-se a amostra do dia 29/11/2013 separadas em copos de vidros necessários a secagem em estufa.



Figura 19- Amostra do dia 29/11/2013 separadas em copos de vidros necessários a secagem em estufa.

Na Figura 20 encontra-se a amostra do dia 03/12/2013 separada em becker de 1000mL necessário a secagem em estufa.



Figura 20- Amostra do dia 03/12/2013 separada em becker de 1000mL necessário a secagem em estufa. Na Figura 21, visualmente a quantidade de sedimento seco é menor que na Figura 22.



Figura 21- Amostra do sedimento no dia 29/11/2013 seco em estufa.



Figura 22- Amostra do sedimento seco em estufa no dia 03/12/2013 .

Análises de Laboratório

A confiança e a precisão na análise de laboratório estão diretamente relacionadas aos cálculos da descarga sólida. As amostras devem ser coletadas em quantidades suficientes para permitir análise adequada para uma correta determinação da grandeza. O processo de análise normalmente é feito a partir do repouso da amostra e decantação do sedimento a fim de permitir redução do volume.

Semanalmente as amostras de água foram coletadas e levadas para secagem na estufa a temperatura de 105°C. Inicialmente as amostras de água foram divididas em copos metálicos e secados na estufa, Figura 23, porém ao final da secagem foi detectado através da pesagem que os copos metálicos estavam perdendo massa, ou seja, ao invés da pesagem final (que é a soma do copo vazio com o sedimento seco que restou), ser maior que a pesagem inicial, estava ocorrendo que no final o peso era maior. Devido a isso foi necessário a substituição desses copos por copos de vidros.



Figura 23- Amostras colocadas em copos metálicos e levadas para secagem na estufa. (Fonte: o autor).

DNAEE (1970) propôs os volumes mínimos necessários para análise de concentração de sedimento, Tabela 5.

Tabela 5 – Volumes mínimos de amostras necessárias para análise de concentração de sedimento em suspensão (Fonte: CARVALHO *et al.*, 2000).

Concentração esperada de sedimento em suspensão (g/m ³ , mg/L, ppm)	Volume da amostra (litros)
> 100	10
50 a 100	5
20 a 30	2
< 20	1

Os métodos usuais de análises para concentração de sedimento e de granulometria são apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Métodos usuais de análise de sedimentos (Fonte: CARVALHO *et al.*, 2000).

SEDIMENTO EM SUSPENSÃO	-Análise de Concentração	-Filtração
		-Evaporação
		-Tubo de remoção pela base
	-Análise Granulométrica	-Pipetagem
		-Densímetro
		-Tubo de remoção pela base
MATERIAL DO LEITO	-Análise granulométrica	-Peneiramento
		-Densímetro
		-Pipetagem
		-Tubo de acumulação visual
		-Tubo de remoção pela base

Carvalho (2008) em seus estudos, orienta que se forem necessários somente análise de concentração do sedimento em suspensão, então opta-se pelos métodos de evaporação ou o de filtragem. Assim, o método de filtragem é usado em amostras de baixas concentrações com pouco volume de água. O método de evaporação é preferido em altas concentrações ou quando o teor de argila na amostra for grande, pois nesse caso haveria dificuldade na filtragem.

Curva-chave sedimentométrica

As curvas-chave de sedimento (CCS) podem ser obtidas pelo par-ordenado com valores de concentração ou de descarga sólida, seja suspensão, de arrasto ou total, e a descarga líquida. E as curvas geram equações da descarga sólida em função da descarga líquida que pode conhecer os valores da descarga sólida fora do período amostrado.

É necessário analisar preliminarmente os dados disponíveis, devendo ser eliminados os valores não consistentes, após essa análise, faz-se indispensável uma segunda análise que só será feita após os pontos serem plotados, um ponto na curva só deve ser descartado depois de analisado todos os dados que geraram aquele valor: medição de vazão, coleta, análise de laboratório e cálculos (CARVALHO, 2008).

5.4 Estação Meteorológica

O campus de agronomia da Universidade Federal de Goiás possui uma estação climatológica (Figuras 24 e 25) que opera desde 1998, sendo esses dados úteis como entrada no modelo hidrológico em estudo. Os dados gerados pela estação são: temperaturas máximas, mínimas e médias diárias ($^{\circ}\text{C}$), direção e velocidade do vento (km/h), precipitação (mm), umidade relativa (%), evapotranspiração no tanque classe A (mm), evaporímetro de Piche (mm) e número de horas de insolação no dia.



Figura 24 - Estação climatológica localizada no campus da Agronomia-UFG (Fonte: o autor).



Figura 25 - Estação climatológica localizada no campus da Agronomia-UFG (Fonte: o autor).

6. MODELO HIDROSEDIMENTOLÓGICO - SWAT

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* (ARS) (Arnold *et al.*, 1998) nos Estados Unidos com o objetivo de analisar os impactos gerados pela alteração do uso do solo em bacias hidrográficas. O modelo faz uma modelagem matemática de parâmetros distribuídos e que simula os fenômenos físicos do ciclo hidrológico em uma bacia associados ao uso do solo, como o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água (SRINIVASAN e ARNOLD, 1994).

Conforme Neitsch *et al.* (2005), o SWAT é modelo de base física que requer informações quanto ao clima, propriedade do solo, topografia, vegetação e práticas de manejo da terra. Esta primeira característica denota sua capacidade de simulação em bacias sem monitoramento, ou seja, sem calibração, favorecendo resultados realistas. Utiliza dados normalmente disponíveis, é modelo contínuo no tempo favorecendo as simulações de longos períodos, até 150 anos (Winchell, 2007).

Segundo Machado (2002) os modelos de parâmetros distribuídos de tempo contínuo consideram a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso da terra e, preservando dessa forma os parâmetros distribuídos espacialmente e as características homogêneas dentro da bacia.

O SWAT sub-divide a bacia hidrográfica em sub-bacias denominadas de Unidades de Respostas Hidrológicas – HRU's. Cada unidade hidrológica apresenta características homogêneas tanto no uso do solo quanto nas suas características pedológicas (Figura 26).

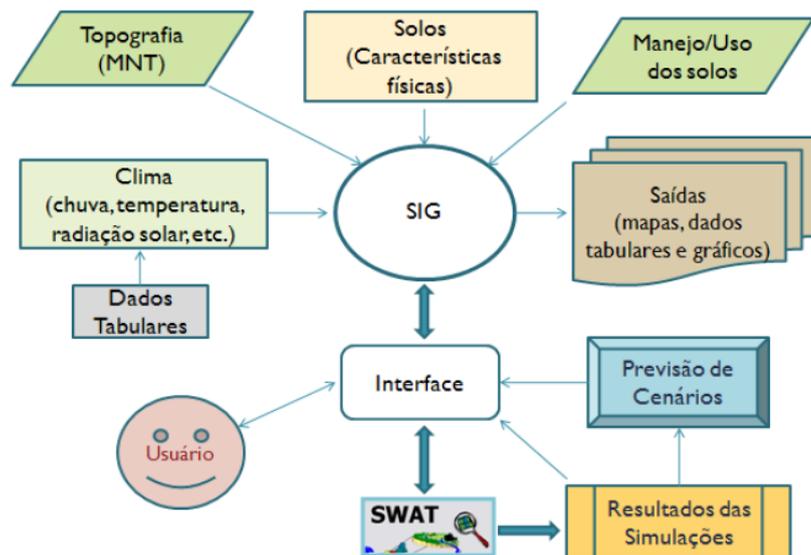


Figura 26- Esquemática do processamento no SWAT. (Fonte: UZEIKA, 2009).

Conforme Neto (2011), o modelo SWAT faz a integração com o software SIG compartilhando os dados integrados. Logo, constata-se que o modelo requer necessariamente três diferentes arquivos geoespaciais: modelo digital de elevação, mapa de tipo de solo e mapa de cobertura do solo. Dados tabulares referentes às condições climáticas também são requisitos básicos para a simulação de uma determinada bacias através do modelo. É através da interface ArcSWAT que os dados geoespaciais são convertidos em informações para a execução do modelo. O modelo geoespacial ArcSWAT é uma extensão para ArcGIS-ArcView (ESRI – Environmental Systems Research Institute) utilizado como ferramenta de pré e pós processamento de dados para a execução do modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Os dados de entrada geoespaciais são de grande vantagem para execução do modelo SWAT, mesmo em comparação a outros modelos hidrológicos. Isto devido ao fato da aquisição de dados por sensoriamento remoto de tal modo que facilita a aplicação em grandes bacias hidrográficas. Estas características, além do crescente uso deste modelo pelo mundo, forneceram os subsídios necessários para sua escolha na realização deste trabalho.

Em seus estudos Oliveira (2013) menciona como importância no pré-processamento de dados é a configuração das Unidades de Resposta Hidrológica contidas nas sub-bacias. A interface ArcSWAT é capaz de fazer conversões dos dados geoespaciais de uso e tipo de solo para o banco de dados, encontrando combinações únicas destes dois aspectos e obedecendo a intervalos de declividade definidos pelo usuário.

Conforme Minotti (2006), o balanço hídrico é a força que conduz todo o processo simulado no SWAT. A simulação hidrológica da bacia hidrográfica é separada em duas grandes divisões: a fase terrestre e a fase aquática. A fase terrestre trabalha com a quantidade de água e as cargas de sedimentos, nutrientes e pesticidas que chegam ao canal principal de cada sub-bacia. A fase aquática é a propagação na rede hídrica, ou seja, relaciona os processos que se referem ao movimento da água, sedimentos, entre outros, dentro da rede hídrica indo em direção ao exutório da bacia hidrográfica principal da área de estudo.

De acordo com Andrade (2011), o SWAT considera que quando a chuva alcança a superfície terrestre (Figura 27), parte dela é retida pelas vegetações e parte chega ao solo podendo ser infiltrada ou escoada superficialmente. Da parte que infiltra, a água será redistribuída no solo, sendo utilizada pelas plantas, e/ou evapotranspirada, e/ou escoada sub-superficialmente até atingir camadas inferiores do solo, e/ou armazenada nos aquíferos podendo então aflorar ou permanecer no aquífero.

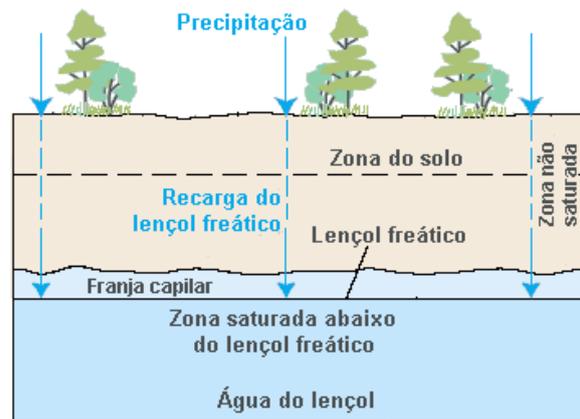


Figura 27 – Fluxo da água. (Fonte: USGS, 2013).

No ciclo da água (Figura 28) a quantificação da água no solo é feita através do balanço hídrico que leva em conta a água disponível para a planta, a precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, percolação e ascensão capilar, para tanto é descrito pela seguinte equação:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1}^t (P_{dia} - Q_{sup} - E_a - w_s - Q_{subt}) \quad (6.4)$$

sendo:

SW_t = quantidade final de água existente no solo (mm H₂O);

SW_0 = quantidade inicial de água existente no solo no dia i (mm H₂O);

t = tempo (dias);

P_{dia} = quantidade de chuva no dia i (mm H₂O);

Q_{sup} = escoamento superficial no dia i (mm H₂O);

E_a = evapotranspiração no dia i (mm H₂O);

w_s = quantidade de água que entra na zona-vadosa (zona não saturada) no dia i (mm H₂O);

Q_{subt} = escoamento de base (mm H₂O).

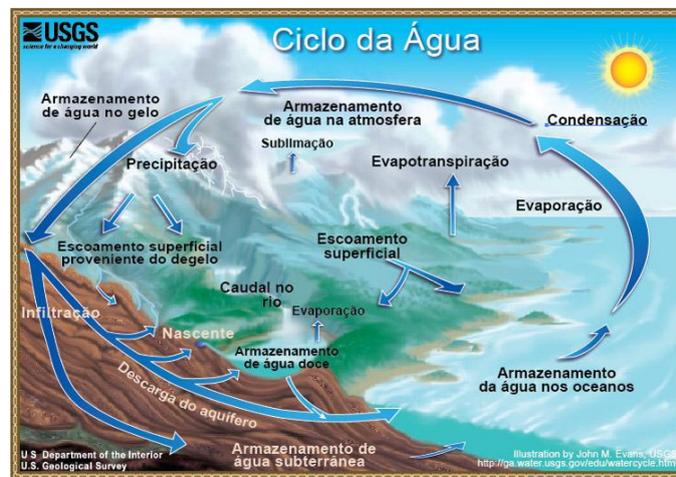


Figura 28 - Ciclo hidrológico ou Ciclo da Água (Fonte: USGS, 2013).

A sub-divisão da bacia hidrográfica possibilita o modelo em refletir diferentes evapotranspirações em diversas culturas e solos. O escoamento superficial é previsto separadamente em cada HRU e encaminhamento para obter o escoamento superficial total da bacia. Isso aumenta a precisão de obter uma melhor descrição física do balanço hídrico (NEITSCH, 2005).

Neitsch (2005), explica que o SWAT divide os dados em: * Climatológico (-Radiação solar; -Temperatura do ar; -Velocidade do vento), *Hidrológico (-Escoamento superficial; -Evapotranspiração; -Água no solo; -Água subterrânea), *Nutrientes / pesticidas (-Nitrogênio; -Fósforo; -Pesticidas; -Bacterérias), *Erosão (-Sedimento; -Transporte de nutrientes; -Transporte de bactérias; - Parâmetros de qualidade de água), *Cobertura da terra e vegetal (-Ciclo vegetativo).

Os componentes que tratam nesse estudo serão retratados abaixo:

a-) Escoamento superficial: o escoamento superficial é o principal fator de perda de solos e ocorre quando a precipitação excede a taxa de infiltração. Dois métodos são utilizados para o cálculo do escoamento superficial: o método do número da curva do SCS (*Soil Conservation Service*) e o método de infiltração de Green e Ampt, este último é utilizado apenas quando se possuem dados sub-diários de precipitação, e foi amplamente desenvolvida para estimar a infiltração admitindo que haja sempre um excesso de água na superfície, que o perfil do solo é homogêneo e que a umidade antecedente é uniformemente distribuída no perfil. O modelo assume que a medida que a água infiltra no solo a porção acima da frente de umedecimento está completamente saturada e aumento no teor de umidade na frente de umedecimento.

Poucas aplicações na literatura relatam o uso da opção de infiltração utilizando o método de Green-Ampt (Di LUZIO e ARNOLD, 2004).

King *et al.* (1999) constataram que a opção Green-Ampt não forneceu qualquer vantagem significativa em comparação com a abordagem do CN para simulações no SWAT.

Kannan *et al.* (2007) concluíram que no SWAT o resultado de vazão foi mais preciso com a metodologia da Curva Número em comparação com o método Green-Ampt.

Para o método do SCS, na equação detalhada abaixo considera também a quantidade de água interceptada pelas plantas:

$$Q_{surf} = \frac{(P_{day} - I_a)^2}{(P_{day} - I_a + S)} \quad (6.5)$$

onde:

Q_{surf} = escoamento superficial acumulado ou excesso de chuva (mm);

P_{day} = precipitação diária (mm);

I_a = perdas iniciais, incluem: acumulação superficial, interceptação e infiltração anterior ao escoamento superficial (mm);

S = parâmetro de retenção (mm). Varia espacialmente com mudanças no tipo e uso do solo, manejo, inclinação e temporalmente, em função das variações da umidade do solo e é calculado por:

$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (6.6)$$

sendo:

CN = número da curva para um dia. É função da permeabilidade e uso da terra e umidade do solo anterior à precipitação, ou seja, é um parâmetro empírico utilizado para prever o escoamento superficial. O CN é definido de acordo com o tipo hidrológico do solo. O SCS define o CN em função da permeabilidade do solo, uso da terra e condições antecedentes de água no solo.

O Serviço de Conservação dos Recursos Naturais dos Estados Unidos (NRCS) classifica o solo em quatro grupos hidrológicos baseados nas características de infiltração. Os solos podem ser classificados nos grupos A,B,C ou D.

As perdas iniciais, I_a , são normalmente aproximada para $0,2S$ segundo recomendações do SCS. Assim a equação (4.2) é reescrita como:

$$Q_{surf} = \frac{(P_{day} - 0,2*S)^2}{(P_{day} + 0,8*S)} \quad (6.7)$$

O escoamento superficial só poderá ocorrer se $P_{day} > I_a$, ou seja, quando a precipitação for maior do que as perdas iniciais.

A vazão de pico (q_{peak}) é a vazão máxima que ocorre com um dado evento de chuva e torna-se um fator importante, pois seu valor é utilizado para quantificar a energia erosiva provocada pelo escoamento superficial na previsão da perda de sedimentos, calculado a partir da modificação realizada no método racional, conforme:

$$q_{peak} = \frac{(\alpha_{tc} * Q_{surf} * Area)}{(3,6 * t_{conc})} \quad (6.8)$$

em que:

α_{tc} = fração da chuva que ocorre durante o t_{conc} (tempo de concentração).

Conforme Machado (2002), o Método Racional é fundamentado na suposição de que, se uma chuva com determinada intensidade “ i ”, inicia instantaneamente e continua indefinidamente, a vazão de pico do escoamento irá aumentar até o tempo de concentração, t_{conc} , quando toda a bacia estará contribuindo para o exutório. Já no Método Racional modificado, a vazão de pico do escoamento é função da proporção diária da precipitação que cai durante o tempo de concentração da bacia, bem como do volume de escoamento superficial diário e do tempo de concentração da bacia (MACHADO, 2002).

O tempo de concentração é obtido pela soma do tempo que a água leva para atingir um canal mais próximo da bacia (t_{cs} em horas) mais a soma do tempo do percurso desta água neste canal até chegar ao exutório da bacia (t_{cc} em horas), conforme segue:

$$t_{conc} = t_{cs} + t_{cc} \quad (6.9)$$

O t_{cs} é calcula da seguinte forma:

$$t_{cs} = \frac{L_{slp}^{0,6} * n^{0,6}}{18 * slp^{0,3}} \quad (6.10)$$

sendo,

L_{slp} = comprimento de rampa (m);

n = coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

slp = declividade média da bacia (m/m).

O SWAT utiliza a equação abaixo para o tcc:

$$t_{cc} = \frac{0,62 * L * n^{0,75}}{A^{0,125} * slp_{ch}^{0,375}} \quad (6.11)$$

onde:

L = comprimento do canal a partir do ponto mais distante da bacia até o exutório (km);

n = coeficiente de rugosidade de Manning para o canal (adimensional);

A = área da bacia (km²);

Slp_{ch} = declividade do canal (m/m).

b-) Evapotranspiração: a evapotranspiração inclui todos os processos de transpiração e evaporação de água das plantas e evaporação de água do solo, ou seja, é um termo coletivo que inclui todos os processos responsáveis pela conservação da água na superfície da Terra em vapor.

O SWAT realiza o cálculo da evapotranspiração potencial e da evapotranspiração real, como descrito a seguir.

b.1-) Evapotranspiração Potencial: a evapotranspiração potencial é estimada pelo modelo SWAT por três métodos distintos: Penman-Monteith (Monteith, 1965), Priestley-Taylor (Priestley-Taylor, 1972) e Hargreaves-Samani (Hargreaves-Samani, 1982), sendo permitido a entrada de dados diários de evapotranspiração potencial caso o usuário prefira aplicar outro método de cálculo. Primeiramente, o SWAT leva em consideração a evaporação da água interceptada pelas plantas e, posteriormente, a quantidade de água transpirada pelas plantas e evaporada do solo. Conforme Andrade (2011), a evaporação potencial dos solos é estimada como uma função da evapotranspiração potencial e do índice de área foliar - IAF em relação a área da HRU.

Quando ocorre demanda para evaporação de água do solo, o modelo divide a demanda entre as diferentes camadas da maneira a seguir:

$$E_{soil,z} = E_s'' * \frac{z}{z + \exp(2,374 - 0,00713 * z)} \quad (6.18)$$

onde:

$E_{soil,z}$ = a demanda por evaporação em uma camada de solo à profundidade z (mm);

E''_s = a evaporação máxima de água no solo (mm);

z = a profundidade a partir da superfície (mm).

Segundo Minotti (2006), o modelo considera que, se a evapotranspiração potencial for inferior a quantidade de água livre nas plantas, então a evapotranspiração real diária (mm) é igual a potencial diária (mm), por conseguinte a quantidade final diária da água livre nas plantas em um dia (mm) é igual a diferença desta quantidade inicialmente calculada com a evapotranspiração real diária. Mas se a evapotranspiração potencial for superior a quantidade de água livre nas plantas, então a quantidade de evaporação diária da água livre nas plantas (mm) será igual a quantidade inicial diária da água livre nas plantas (mm), e a quantidade final será nula.

Depois de determinada a evapotranspiração potencial, a evaporação real é calculada pelo SWAT.

b.2-) Evapotranspiração Real: é estimada usando uma função exponencial da profundidade do solo e da umidade do mesmo. A transpiração das plantas é simulada como uma função linear da evapotranspiração potencial e do IAF (NEITSCH *et al.*, 2005).

c-) Percolação: a percolação ocorre quando a quantidade de água excede a capacidade de campo para uma determinada camada de solo. No SWAT, a percolação é calculada em cada camada do perfil do solo e o componente da percolação combina a técnica de propagação do armazenamento com um modelo de fluxo em fendas no solo (NEITSCH, 2005).

Segundo Machado (2002), uma vez que a água percolou abaixo da zona das raízes (root zone), ela é armazenada como água subterrânea ou aflora surgindo como escoamento. A quantidade de água que percola para a próxima camada é calculada pela equação:

$$W_{perc,ly} = SW_{ly,excess} * \left(1 - \exp\left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}}\right]\right) \quad (6.19)$$

sendo:

$W_{perc,ly}$ = quantidade de água que percola para a próxima camada (mm);

$SW_{ly,excess}$ = volume de água drenável na camada de solo (mm);

Δt = duração do passo de tempo (h);

TT_{perc} = tempo de propagação através da camada i em h.

$$TT_{perc} = \frac{SAT_{ly} - FC_{ly}}{K_{sat}} \quad (6.20)$$

em que:

SAT_{ly} = quantidade de água na camada do solo quando completamente saturado (mm);

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada (mm/h).

O volume de água disponível para percolação na camada de solo é calculado por:

$$SW_{ly,excess} = SW_{ly} - FC_{ly} \quad \text{se} \quad SW_{ly} > FC_{ly}$$

$$SW_{ly,excess} = 0 \quad \text{se} \quad SW_{ly} \leq FC_{ly}$$

onde:

SW_{ly} = quantidade de água, em uma camada de solo, em um determinado dia (mm H₂O);

FC_{ly} = quantidade de água de uma camada de solo na capacidade de campo (mm H₂O).

d-) Fluxo / escoamento lateral e vazão sub-superficial: após a água infiltrar no solo, irá percolar verticalmente até atingir a camada impermeável, e em solos com condutividade hidráulica elevada nas camadas superficiais haverá fluxo ou escoamento lateral significativo. A água poderá se acumular acima dessa camada formando uma zona saturada que será a fonte para o fluxo lateral sub-superficial. No SWAT, o escoamento lateral é calculado simultaneamente com a percolação, utilizando o modelo de armazenamento cinemático para o escoamento sub-superficial baseado na equação de balanço de massa onde o segmento em declive é utilizado como volume de controle. Para a aproximação da onda cinemática no escoamento lateral saturado é assumido que a linha de escoamento da zona saturada é paralela a camada impermeável e o gradiente hidráulico igual à declividade da base.

A fórmula para calcular o escoamento sub-superficial é:

$$Q_{lat} = 0,024 * \left(\frac{2 * SW_{ly,excess} * K_{sat} * slp}{\emptyset_d * L_{hill}} \right) \quad (6.21)$$

sendo:

Q_{lat} = quantidade de água que escoar sub-superficialmente (mm);

$SW_{Iy,excesso}$ = volume de água drenável na camada de solo (mm);

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada (mm/h);

slp = declividade média da bacia (m/m);

\emptyset_d = porosidade drenável da camada de solo (mm/mm);

L_{hill} = comprimento do declive (m).

e-) Escoamento subterrâneo: o SWAT simula o aquífero raso (não-confinado) e o profundo (confinado). O primeiro (não-confinado) contribui para o escoamento no canal, e o segundo (confinado) contribui para o escoamento de água fora da bacia hidrográfica simulada (LINO, 2009).

O escoamento de base ou subterrâneo somente contribuirá no trecho do canal se a quantidade de água armazenada no aquífero exceder um valor determinado pelo usuário. O escoamento subterrâneo até a recarga é calculado pela equação:

$$Q_{gw} = \frac{8000 * K_{sat}}{(L_{gw})^2} * h_{wtbl} \quad (6.22)$$

onde:

Q_{gw} = escoamento subterrâneo (de base) no canal principal no dia i (mm);

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada (mm/h);

L_{gw} = distância do divisor da bacia do sistema subterrâneo para o canal principal (metros);

h_{wtbl} = altura do lençol freático (metros).

O escoamento subterrâneo pode ser calculado de duas formas: a-) quando ocorre recarga, e b-) quando não ocorre recarga.

As fórmulas para o escoamento subterrâneo com recarga são:

$$Q_{gw,i} = Q_{gw,i-1} * \exp[-\alpha_{gw} * \Delta t] + w_{rchr,sh} * (1 - \exp[-\alpha_{gw} * \Delta t])$$

$$\text{Se} \quad aq_{ch} > aq_{shthr,q} \quad (6.23)$$

$$Q_{gw,i} = 0 \quad \text{se} \quad aq_{ch} \leq aq_{shthr,q} \quad (6.24)$$

Onde:

$Q_{gw,i}$ = escoamento subterrâneo no canal principal no dia i (mm);

$Q_{gw,i-1}$ = escoamento subterrâneo no canal principal no dia i-1 (mm);

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada (mm/h);

α_{gw} = constante de recessão de escoamento de base;

Δt = passo de tempo (valor igual a 1);

$W_{rchrg,sh}$ = quantidade de água de recarga entrando no aquífero raso no dia i (mm);

$aq_{shthr,q}$ = nível limiar de água no aquífero raso para que ocorra contribuição da água subterrânea para o canal principal (mm).

Para o escoamento subterrâneo quando não ocorre a recarga do aquífero, as fórmulas são:

$$Q_{gw} = Q_{gw,0} * \exp[-\alpha_{gw} * t] \quad \text{se} \quad aq_{ch} > aq_{shthr,q} \quad (6.25)$$

$$Q_{gw,i} = 0 \quad \text{se} \quad aq_{ch} \leq aq_{shthr,q} \quad (6.26)$$

Onde:

Q_{gw} = escoamento subterrâneo no canal principal no tempo t (mm);

$Q_{gw,0}$ = escoamento subterrâneo no início da recessão (t=0) (mm);

α_{gw} = constante de recessão de escoamento de base;

t = tempo passado desde o início da recessão (valor igual a 1);

aq_{ch} = quantidade de água inicial armazenada no aquífero raso no dia i (mm);

$aq_{shthr,q}$ = nível limiar de água no aquífero raso para que ocorra contribuição da água subterrânea para o canal principal (mm).

f-) sedimento: O modelo SWAT estima o aporte de sedimentos através da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE (WILLIAMNS, 1975) a qual se baseia na Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier e Smith, 1969):

$$sed = 11,8 * ((Q_{surf} * q_{peak} * area_{hru})^{0,56}) * K_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * LS_{USLE} * CFRG \quad (6.27)$$

onde:

sed= aporte de sedimentos diária (ton/ha);

Q_{surf} = volume de escoamento superficial (mm H₂O ha⁻¹);

q_{peak} = vazão de pico (m³ s⁻¹);

$area_{hru}$ = área da unidade de resposta hidrológica (HRU) (ha);

K_{USLE} = fator erodibilidade (0,013 ton m² hr (m³ - ton cm)⁻¹);

C_{USLE} = fator de uso e manejo do solo (adimensional);

P_{USLE} = fator de práticas conservacionistas (adimensional);

LS_{USLE} = fator topográfico (adimensional);

$CFRG$ = fator de fragmentação esparsa (adimensional).

O **fator K de Erodibilidade do solo** (K_{USLE}) representa a suscetibilidade do solo em ser erodido, e é dado pelas características intrínsecas do mesmo. Wischmeier e Smith (1969) desenvolveram a seguinte expressão para calcular o fator erodibilidade do solo:

$$K_{USLE} = \frac{0,00021 * M^{1,14} * (12 - OM) + 3,25 * (c_{soilstr} - 2) + 2,25 * (c_{perm} - 3)}{100} \quad (6.28)$$

em que:

M= parâmetro de tamanho de partícula (adimensional);

OM= porcentagem de matéria orgânica (%);

$c_{soilstr}$ = código usado para classificar a estrutura do solo ($c_{soilstr}=1$ para estrutura granular muito fina; $c_{soilstr}=2$ para estrutura granular fina; $c_{soilstr}=3$ para estrutura granular média ou grossa; $c_{soilstr}=4$ para estrutura em blocos, laminar ou massiva);

c_{perm} = código para classe de permeabilidade do solo ($c_{perm} = 1$ para permeabilidade rápida; $c_{perm} = 2$ para permeabilidade moderada a rápida; $c_{perm} = 3$ para permeabilidade moderada; $c_{perm} = 4$ para permeabilidade lenta a moderada; $c_{perm} = 5$ para permeabilidade lenta; $c_{perm} = 6$ para permeabilidade muito lenta);

O = parâmetro de tamanho de partícula é calculado por:

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) * (100 - m_c) \quad (6.29)$$

onde:

M = parâmetro de tamanho de partícula (adimensional);

m_{silt} = porcentagem de silte (0,002 – 0,05 mm de diâmetro);

m_{vfs} = porcentagem de areia fina (0,05 – 0,10 mm de diâmetro);

m_c = porcentagem de argila (<0,002 mm de diâmetro).

A porcentagem de matéria orgânica pode ser calculada:

$$OM = 1,72 * C_{org} \quad (6.30)$$

em que:

C_{org} = porcentagem de carbono orgânico presente na camada de solo analisada.

Williams (1995), propos uma equação alternativa:

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand} \quad (6.31)$$

sendo:

f_{csand} = fator que dá valores de erodibilidade do solo baixos para solos com alto conteúdo de areia grossa e valores elevados para solos com pouca areia;

f_{cl-si} = fator que dá valores de erodibilidade do solo baixos para solos com alta proporções de argila;

f_{orgc} = fator que reduz a erodibilidade do solo para solos com alto teor de carbono orgânico;

f_{hisand} = fator que reduz a erodibilidade do solo para solos com teor extremamente alto de areia;

$$f_{csand} = \left(0,2 + 0,3 * \exp \left[-0,256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (6.32)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (6.33)$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0,25 * orgC}{orgC + \exp[3,72 - 2,95 * orgC]} \right) \quad (6.34)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0,7 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5,51 + 22,9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (6.35)$$

onde:

m_s = porcentagem de areia (0,05 – 2,00 mm de diâmetro das partículas);

m_{silt} = porcentagem de silte (0,002 – 0,05 mm de diâmetro das partículas);

m_c = porcentagem de argila (< 0,002 mm de diâmetro das partículas);

$orgC$ = porcentagem de carbono orgânico na camada.

Fator de Uso e Manejo do Solo (C_{USLE}) expressa a relação esperada entre as perdas de solo em áreas com culturas agrícolas e vegetação, com áreas continuamente descobertas. Para solos sem vegetação e sem proteção tem-se referencial igual a 1. Considerando que a eficiência de proteção das plantas ao solo está diretamente relacionada com seu ciclo de desenvolvimento e a geração de resíduos, o SWAT calcula o fator de uso e manejo do solo diário através da seguinte equação:

$$C_{USLE} = \exp \left(\left[\ln(0,8) - \ln(C_{USLE, nm}) \right] * \exp \left[-0,00115 * rsd_{surf} \right] + \ln[C_{USLE, nm}] \right) \quad (6.36)$$

onde:

$C_{USLE, nm}$ = valor mínimo do fator de uso e manejo do solo,

rsd_{surf} = quantidade de resíduos sobre a superfície de solo ($kg \cdot ha^{-1}$). O valor mínimo do fator de uso e manejo do solo pode ser estimado a partir da seguinte expressão (Arnold *et al.*, 1995b):

$$C_{USLE,nm} = 1,463 * \ln[C_{USLE,aa}] + 0,1034 \quad (6.37)$$

sendo:

$C_{USLE,aa}$ = média anual do fator C da cobertura vegetal considerada.

Fator de Práticas Conservacionistas (P_{USLE}) representa a relação entre a perda de solo esperada, com determinada prática conservacionista, e a obtida quando a cultura é plantada no sentido do declive (morro abaixo). Práticas comuns são o plantio em contorno, terraceamento e alternância de culturas. A Tabela 6.7 a seguir apresenta os valores adotados de P_{USLE} e os limites de comprimento de rampa para locais onde se adota práticas conservacionistas com plantio em contorno. Em áreas onde a prática de plantio em contorno é realizada conjuntamente com o plantio de faixas alternadas de diferentes culturas, a Tabela 6.8 é recomendada para a determinação do valor de P_{USLE} .

Tabela 6.7 - Valores de P_{USLE} para as respectivas faixas de declividades com os respectivos comprimentos máximos (Fonte: Neitsch, 2005).

Declividade (%)	P_{USLE}	Comprimento máximo (m)
1 a 2	0,60	122
3 a 5	0,50	91
6 a 8	0,50	61
9 a 12	0,60	37
13 a 16	0,70	24
17 a 20	0,80	18
21 a 25	0,80	15

Tabela 6.8 - Valores de P_{USLE} para as respectivas culturas com plantios, faixas de declividades e comprimentos máximos (Fonte: Neitsch, 2005).

Declividade (%)	P_{USLE}^1			Faixa (m)	Comprimento máximo (m)
	A	B	C		
1 a 2	0,30	0,45	0,60	40	244
3 a 5	0,25	0,38	0,50	30	183
6 a 8	0,25	0,38	0,50	30	122
9 a 12	0,30	0,45	0,60	24	73
13 a 16	0,35	0,52	0,70	24	49

17 a 20	0,40	0,60	0,80	18	37
21 a 25	0,45	0,68	0,90	15	30

P_{USLE}^1 A: valor aplicado para 4 anos de rotação de cultura de grãos pequenos com plantio em contorno e 2 anos plantio em contorno (Fonte: Neitsch, 2005).

P_{USLE}^1 B: aplicado para 4 anos de rotação de cultura e 2 anos em linha, grãos de inverno com plantio em contorno, e 1 ano em contorno;

P_{USLE}^1 C: para faixas alternadas de cultura em linha e grãos de inverno.

Fator Topográfico (LS_{USLE}) os fatores L e S são apresentados em conjunto e denominados “Fator Topográfico”. O comprimento do declive (L) representa a relação de perdas entre um declive de comprimento qualquer e um declive de 22,1 m de comprimento do mesmo solo, mesmas características de chuva, mesmo grau de inclinação e sob mesmas condições de manejo. Grau do declive (S) é a relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, para as mesmas condições.

O fator topográfico é calculado:

$$LS_{USLE} = \left(\frac{L_{hill}}{22,1}\right)^m * (65,41 * \sin^2(\alpha_{hill}) + 4,56 * \sin \alpha_{hill} + 0,065) \quad (6.38)$$

onde:

L_{hill} = comprimento de rampa (m);

M= termo exponencial;

α_{hill} = ângulo do declive.

O termo exponencial, m, é obtido através da expressão:

$$m = 0,6 * (1 - \exp[-35,835 * slp]) \quad (6.39)$$

sendo que:

slp= declividade da unidade de resposta hidrológica (HRU) expressa em m.m-1.

A relação entre α_{hill} e slp é:

$$slp = \tan \alpha_{hill} \quad (6.40)$$

Neitsch (2005), analisando a equação utilizada pelo modelo SWAT para o cálculo do fator LS_{USLE} , constata-se que o comprimento de rampa (L_{hill}) é a distância máxima entre os extremos da HRU e a declividade (slp).

Fator de Fragmentação Esparsa (CFRG) é calculado através da seguinte expressão:

$$CFRG = \exp(-0,053 * rock) \quad (6.41)$$

onde:

rock= porcentagem de rochas na primeira camada de solo (%).

6.1 Calibração e Análise de Sensibilidade

Segundo Sarmento (2010), algumas etapas da modelagem, tais como a análise de sensibilidade, calibração e análise de incertezas, são imprescindíveis para tornar os resultados modelados mais representativos daquilo que se quer simular, bem como ter uma melhor compreensão do evento em estudo. A análise de sensibilidade é o estudo de como um modelo responde, quantitativamente e qualitativamente, a diferentes variações nas informações que o alimenta. Portanto, a análise de sensibilidade estuda as relações entre os fluxos de informações que entram e que saem do modelo. A autora descreve que a calibração é o processo de modificação dos valores dos parâmetros, dentro de um aceitável intervalo, para obtenção de um modelo que replique condições previamente conhecidas do processo natural modelado.

Segundo Marchioro (2008) define que a calibração é uma ferramenta que permite ao usuário editar o desempenho global das variáveis de entrada do modelo.

As condições iniciais do modelo devem ser informadas na simulação para se reduzir os erros de modelagem, porém, é comum o desconhecimento das condições iniciais na modelagem de sistemas hidrológicos e pode ocorrer uma discordância entre os valores medidos e simulados no início da simulação, no entanto uma forma de contornar esse problema é realizar a simulação por um período de tempo T, chamado de período de aquecimento do modelo (SARMENTO, 2010).

Neitsch *et al.* (2005) recomenda que haja um período de aquecimento do modelo e que seja no mínimo 1 ano, para garantir que o ciclo hidrológico seja simulado corretamente, antes que seja feito qualquer comparação entre os dados observados e calculados pelo SWAT. O mesmo autor afirma que o período usado na calibração é normalmente de 2 a 10 anos.

Para a calibração do balanço hídrico é necessário ter conhecimento de condições atuais da bacia hidrográfica. Idealmente é preciso ter medição de vazão dentro ou na saída da bacia.

Conforme Arnold *et al.* (2009), o SWAT é sensível para mais de 100 variáveis de entrada, então para uma melhor performance da modelagem com o SWAT, o usuário deve calibrar e validar o modelo para os parâmetros existentes. O processamento da calibração/validação consiste em 3 etapas: 1-) selecionar uma determinada parcela de dados, 2-) rodar o modelo para diferentes valores de parâmetros desconhecidos até os melhores valores observados, 3-) para os parâmetros na calibração, utilizar no modelo os dados observados remanescentes. O SWAT divide a calibração em componentes do balanço hídrico, sedimento, nutrientes, pesticidas.

Segundo Christofolletti (1999), a calibração é o processo de estabelecer os parâmetros adequados de entrada dos modelos e as condições internas do sistema (nesse caso, a bacia hidrográfica), a fim de se verificar a adequação das respostas.

Há duas formas de calibração, a manual e a automática. Na calibração manual, faz-se necessário a alteração um de cada vez dos parâmetros até que aproximem dos observados, devido a isso depende-se muito tempo até sua conclusão. A calibração automática, que envolve o uso de um algoritmo determinando melhor o ajuste dos parâmetros, e esta é feita baseada na técnica do *Shuffled Complex Evolution Algorithm* da Universidade do Arizona (SCE-UA), tendo o SWAT duas opções para as funções objetivo: Soma dos Quadrados Residuais (SSQ) e Soma dos Quadrados da Diferença dos valores medidos e simulados (SSQR). No SCE-UA as variáveis são otimizadas usando o critério de otimização global a partir de dados de entrada que compõem a calibração do modelo. O SCE combina a sistemática evolução dos dados de saída em direção a melhoria global compatível com os dados medidos.

Conforme Machado (2002), o método estatístico é utilizado para avaliar o desempenho de modelos, sendo que o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe – COE é o mais usual (equação 39), e pode variar de $-\infty$ a 1, sendo quanto mais se aproximar de 1 melhor será e igualando a 1 significa um ajuste perfeito.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_{obs} - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_{obs} - \bar{E})^2} \quad (7.38)$$

sendo:

E_{obs} = valor do evento observado;

E_s = valor do evento simulado;

\bar{E} = valor médio do evento observado.

No período de calibração, os ajustes possíveis a serem feito é alterar as variáveis até o valor do COE atingir valor aceitável ($> 0,7$), conforme Machado (2002) e Lelis *et al.* (2005).

O processamento da calibração leva ao conhecimento de quais parâmetros são mais sensíveis e classificados em ordem crescente sendo que quanto menor o número da ordem mais

sensível é o parâmetro ao modelo. Van Griensven *et al.* (2006) sugerem uma classificação dos parâmetros na análise de sensibilidade (Tabela 9).

No entanto antes do término do processamento da calibração, é importante que seja realizada uma análise de sensibilidade, pois em virtude de vários parâmetros de saída do modelo, apenas alguns que possuem real relevância para o ajuste da calibração e para as respectivas saídas em uma determinada bacia hidrográfica.

Tabela 9. Influência da posição do parâmetro na Análise de Sensibilidade no processo de Calibração (Fonte: Van Griensven *et al.*, 2006).

Categoria	Posição do parâmetro
Muito importante	1
Importante	2 a 6
Ligeiramente importante	7 a 19
Sem importância	20 a 28

A análise de sensibilidade no SWAT 2009 pela interface ArcSWAT, o modelo utiliza a combinação do *Latin Hypercube* (LH) e o *One-Factor – At-a-Time* (OAT). O LH utiliza o Método de Monte Carlo permitindo uma análise mais robusta na sensibilidade, pois requer um grande número de variáveis associadas (NEITSCH *et al.*, 2005). O LH subdivide cada parâmetro de “m” alcance, cada um com probabilidade de ocorrência igual a $1/m$. Para cada combinação aleatória de “m” o modelo combina a verificação de uma volta e sua performance.

No OAT, apenas os parâmetros de entrada são modificados durante os “*looping*” que o modelo realiza na análise. Os parâmetros são aleatoriamente aumentados ou diminuídos com a fração de f , e considerando “ p ”. A performance do fator “ p ” envolve $p+1$, obtendo o parcial efeito de cada parâmetro em uma rodada. O efeito final será estimado pela média do conjunto de “m” efeito parcial. O resultado final é fornecido por meio de um *ranking*, o LH estima o alcance por meio de $m*(p+1)$ para cada volta na simulação.

6.1.a Parâmetros sensíveis na calibração com descargas líquidas observadas no modelo SWAT

Para Andrade (2011) o parâmetro curva número foi o mais sensível seguido pelo fator alfa do fluxo de base, ou seja, é fator em que a taxa na qual a água subterrânea retorna ao rio, e o parâmetro da fração da percolação no aquífero. Em seu estudo Lelis (2011) obteve maior sensibilidade o parâmetro curva número seguido pela capacidade de água disponível no solo.

Ferrigo (2011) encontrou que o fator de compensação da evaporação do solo seguido pelo alfa do fluxo de base são os mais sensíveis no modelo. Lino (2009), concluiu em sua pesquisa que os parâmetros mais sensíveis são alfa do fluxo de base e curva número. Sarmento (2010) encontrou que os parâmetros curva número e o coeficiente de intervalo do escoamento superficial são os dois primeiros mais sensíveis no seu modelo.

Arnold *et al.* (2011), descrevem algumas etapas a ser seguidas na calibração, o primeiro passo é o ajuste do curva número, posteriormente o parâmetro de capacidade de água na camada do solo e fator de evaporação de água no solo, sempre comparando entre os valores simulados com os observados, depois faz-se um incremento no coeficiente de água subterrânea, decréscimo até valores limiares da profundidade limite da água no aquífero raso para ocorre percolação para o aquífero profundo e mudanças no parâmetro profundidade limite de água no aquífero superficial necessária para ocorrer o fluxo de retorno.

No Tabela 10, Lelis *et al.* (2012) fizeram um levantamento bibliográfico dos parâmetros de maior sensibilidade no SWAT.

Segundo Lelis (2011), alguns autores apontaram, na maioria, os parâmetros relacionados a propriedades físicas do solo como mais sensíveis no modelo, tais como: densidade, condutividade hidráulica, capacidade de água disponível e número da curva.

Tabela 10- Parâmetros de maior sensibilidade para escoamento superficial no SWAT (Fonte: Lelis (2011))

Número da curva (CN2)	Lino <i>et al.</i> (2009); Jha (2009); Reungsang <i>et al.</i> (2009); Cibir <i>et al.</i> (2010); Santosh <i>et al.</i> (2010).
Capacidade de água disponível (SOL_AWC)	Adriolo <i>et al.</i> (2008); Jha (2009); Schmalz & Fohrer (2009); Reungsang <i>et al.</i> (2009); Cibir <i>et al.</i> (2010); Jeong <i>et al.</i> (2010); Santosh <i>et al.</i> (2010).
Condutividade hidráulica (SOL_K)	Adriolo <i>et al.</i> (2008); Cibir <i>et al.</i> (2010).
Fator de compensação da evaporação do solo (ESCO)	Lino <i>et al.</i> (2009); Jha (2009); Schmalz & Fohrer (2009); Reungsang <i>et al.</i> (2009); Cibir <i>et al.</i> (2010); Jeong <i>et al.</i> (2010); Santosh <i>et al.</i> (2010).
Fator alfa de recessão do fluxo de base (ALPHA_BF)	Lino <i>et al.</i> (2009); Jha (2009); Schmalz & Fohrer (2009); Reungsang <i>et al.</i> (2009); Cibir <i>et al.</i> (2010); Jeong <i>et al.</i> (2010); Santosh <i>et al.</i> (2010).
Profundidade da camada de solo (SOL_Z)	Adriolo <i>et al.</i> (2008); Schmalz & Fohrer (2009).
Fração de percolação aquífero profundo (RCHRG_DP)	Jha (2009); Schmalz & Fohrer (2009).
Fator de cobertura vegetal existente no solo (USLE_C)	Adriolo <i>et al.</i> (2008).
Fator práticas de conservação do solo (USLE_P)	Adriolo <i>et al.</i> (2008).
Comprimento médio do declive-rampa lateral (SLSUBBSN)	Adriolo <i>et al.</i> (2008); Cibir <i>et al.</i> (2010); Santosh <i>et al.</i> (2010).
Fator compensação de crescimento da planta	Jha (2009); Jeong <i>et al.</i> (2010).

(EPCO)	
Declividade média da bacia (SLOPE)	Adriolo <i>et al.</i> (2008); Cibin <i>et al.</i> (2010).
Coefficiente retardo do escoamento superficial (SURLAG)	Lino <i>et al.</i> (2009); Cibin <i>et al.</i> (2010); Jeong <i>et al.</i> (2010).

Na Tabela 11 estão todos os parâmetros sensíveis para escoamento superficial, independente da ordem de importância.

Tabela 11- Parâmetros sensíveis ao escoamento superficial.

Descrição	Parâmetros de vazão
Fator de compensação da evaporação do solo	Esco
Capacidade de água na primeira camada do solo (m/mm)	Sol_Awc
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer o fluxo de retorno	Gwqmin
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer a "revap" (percolação)	Revapmn
Profundidade da primeira camada de solo	Sol_Z
Coefficiente de "revap" (percolação)	Gw_Revap
Fator alfa do fluxo de base (dias)	Alpha_Bf
Máximo potencial do índice de área foliar da cobertura vegetal	Blai
Armazenamento máximo no dossel	Canmx
Valor inicial do método de curva número do SCS	Cn2
Condutividade hidráulica efetiva no canal principal	Ch_K2
Fator de compensação da absorção pelas plantas	EpcO
Valor de "n" de Manning no canal principal	Ch_N1
Declividade / talude	Slope
Condutividade hidráulica saturada na primeira camada de solo (mm/hr)	Sol_K
Atraso de águas subterrâneas (dias)	Gw_Delay
Albedo do solo úmido na primeira camada do solo	Sol_Alb
Coefficiente de atraso do escoamento superficial	Surlag
Eficiência de mistura biológica	Biomix
Comprimento da declividade média	Ssubbsn
Temperatura de queda de neve (°C)	Sftmp
Taxa mínima de fusão para a neve durante o ano (mm H ₂ O/°C/day)	Smfmn
Taxa máxima de fusão para a neve durante o ano (mm H ₂ O/°C/day)	Smfmx
Temperatura base do derretimento da neve (°C)	Smtmp
Fator de temperatura do bloco de neve	Timp
Taxa de cálculo para temperatura (°C/km)	Tlaps

6.1.b Parâmetros sensíveis na calibração com descargas sólidas observadas no modelo SWAT

O ajuste dos parâmetros sensíveis na calibração de descarga sólida observadas no SWAT é feito ajustando valor simulado do fator de produção de sedimento que é carregado para o canal com o observado.

Enquanto que o escoamento superficial é o fator primordial que controla o fluxo de sedimento para o rio, há outras variáveis que também podem afetar o movimento de sedimento, sendo na equação de USLE os seguintes fatores tem influencias no sedimento: *fator de práticas conservacionistas P (USLE_P), que relaciona os terracamentos e curvas de nível em áreas de agricultura, sugere que declividades superiores a 5% deverá ter terraços, *fator do comprimento do declive, o qual afeta a prática conservacionista usado nos HRU's, *fator de práticas de cultivo que em alguns casos o mínimo do valor aplicado refere-se ao valor referente a cobertura vegetal que não pode ser exatamente medido a área.

Existem duas fontes de sedimentos na simulação do SWAT: carreamento para as HRU's e degradação/deposição no canal. Na maioria das situações, o usuário terá pouca informação sobre a degradação do canal, então nos casos em que avaliar diretamente o canal, deve-se ajustar as cargas nas HRU's até valores razoáveis com o real e, em seguida, assumir que a diferença restante entre o observado e simulado é devido a degradação do canal

Uma vez que a proporção de escoamento superficial que contribui para a vazão está sendo simulada corretamente, a contribuição de sedimentos deve ser perto de valores medidos.

Na Tabela 12 estão os parâmetros sensíveis a calibração de descarga sólida observada.

Tabela 12- Parâmetros sensíveis no SWAT a descarga sólida.

Descrição	Parâmetros de sedimento
Fator de MUSLE de práticas conservacionistas	Usle_P
Parâmetro linear para o cálculo da máxima quantidade de sedimento que entra durante o canal	Spcon
Parâmetro exponencial para o cálculo da máxima quantidade de sedimento que entra durante o canal	Spexp
Fator de MUSLE de cobertura do solo (m/s)	Usle_C
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod

6.2 Análise de Incertezas

A simulação de um processo pelo modelo matemático, produz resultados que geralmente trazem incertezas decorrentes da variação do processo natural que é aleatório e com probabilidade de ocorrência e risco (BATISTA, 2006).

De acordo com Lima *et al.* (2007), há 3 categorias para as incertezas hidrológicas: variabilidade aleatória dos fenômenos hidrológicos, incertezas do modelo e incertezas nos parâmetros que esse último está vinculado a falta de conhecimento dos coeficientes das equações.

Segundo Abbaspour (2013), para fazer inferência referente a quantificação dos parâmetros, algumas considerações devem ser consideradas: -erros nas anotações dos dados medidos (aos valores como chuva e temperatura; -erros nas variáveis medidas utilizadas na calibração do modelo (descarga líquida e concentração de sedimentos, etc); -erros conceituais no modelo (inclusão de toda a física no modelo que contribua significativamente para os dados).

Sarmento (2010), menciona que a análise de incertezas na modelagem permite que se estime o valor esperado e o intervalo da confiança dos resultados simulados em função das incertezas existentes no processo e na estimativa dos valores dos parâmetros. Um dos objetivos primordiais da análise de incertezas é uma ferramenta para o desenvolvimento do conhecimento sobre o comportamento de sistemas ambientais complexos e predições do comportamento futuro do sistema em estudo.

Conforme Neitsch *et al.* (2005), há incertezas no modelo, tais como: -incertezas conceituais no modelo (ou incertezas estruturais), -incertezas nos dados de entrada e incertezas nos parâmetros.

6.2.1 SWAT-CUP: *Soil Water Assessment Tools – Calibration Uncertainty Programs*

Modelos distribuídos de bacias hidrográficas estão sendo cada vez mais utilizado para apoiar nas decisões sobre alternativas estratégicas de gestão nas áreas de mudança do uso e ocupação do solo, alterações climáticas, alocação de água e controle da poluição hídrica, portanto a calibração dos parâmetros desses modelos está condicionada a natureza e suas incertezas.

Para Abbaspour (2011), nos últimos anos, realizar a calibração e análise de incerteza, tornaram-se procedimentos disponíveis. Como apenas um técnica não pode ser aplicada em todas as situações e diferentes projetos podem se beneficiar de diferentes procedimentos, então três programas são aplicados ao SWAT (Arnold *et al*, 1998) sob a mesma plataforma, SWAT-CUP. Esses procedimentos incluem: Probabilidade Generalizada da Estimativa de Incerteza (GLUE) (Beven e Binley, 1992), Solução de Parâmetros (PARASOL) (van Griensven e Meixner, 2006), e Sequencia de Montagem das Incertezas (SUFI-2) (Abbaspour, *et al.*, 2007).

Os objetivos do SWAT-CUP são: - integrar diversas calibrações e análise de procedimentos de incertezas para SWAT em uma interface de fácil manuseio aos usuários; - fornecer um maneira mais rápida para fazer as operações demoradas da calibração e padronizar as etapas de calibração; -adicionar funcionalidades para as operações de calibração, tal como a criação de resultados gráficos, comparação dos dados calibrados, etc. O programa é escrito na plataforma de programação em C#, (Abbaspour,2013).

A seguir serão abordados as técnicas de análise de incertezas em que o SWAT-CUP utiliza:

6.2.1.a Probabilidade Generalizada da Estimativa de Incerteza – GLUE

Benver e Freer (2001) em seus estudos, citam que o GLUE é uma técnica de análise de incerteza baseado na amostragem dos parâmetros que são os responsáveis por todas as fontes de incerteza, ou seja, a incerteza de entrada, incerteza estrutural, incerteza dos parâmetros e incerteza de resposta, porque o valor da medida de probabilidade é associado a um conjunto de parâmetros que reflete todas essas fontes de erro e quaisquer efeitos da covariação dos valores dos parâmetros de desempenho do modelo.

No GLUE, um grande número de conjuntos de parâmetros são amostrados aleatoriamente a partir da distribuição prévia, e cada conjunto de parâmetros é avaliado como “comportamental” ou “não-comportamental” através de uma comparação da medida da

probabilidade com um valor limite fixado. Cada conjunto de parâmetros comportamentais, é dada uma probabilidade de acordo com o peso. Finalmente, a predição da incerteza é descrita pela quantidade da distribuição cumulativa realizada a partir do conjuntos de parâmetros comportamentais (YANG, 2008).

6.2.1.b Parâmetro de Solução – ParaSol

Segundo Abbaspour (2008), o método Parasol minimiza a Função Objetivo (OF) e o Critério de Otimização Mundial (GOC), utilizando o Algoritmo Complexo Aleatório (SCE-UA), ou seja, é baseado na modificação do SCE. Em uma primeira etapa, o SCE-UA seleciona uma população inicial por amostragem aleatória em todo o espaço de parâmetros viáveis. Essa população é repartida em várias, sendo que evolui de forma independente usando o algoritmo.

Conforme Yang (2008), após a otimização da modificação do SCE, as simulações são divididas por um limite em “boas” e “não-boas”, conforme a metodologia de GLUE. Porém esses limiar pode ser definido por qualquer χ^2 –estatística onde as simulações selecionadas correspondem a região de confiança.

6.2.1.c Sequencial Montagem de Incerteza – SUFI-2

Yang (2008), comenta que similarmente ao GLUE, o SUFI-2 representa a incerteza de todas as pesquisas que envolvem os parâmetros de incertezas em modelos hidrológicos.

No SUFI-2, o parâmetro de incerteza é descrito com uma variedade na distribuição uniforme do parâmetro hypercube. A amostragem por Latin hypercube é utilizada para traçar o parâmetro independente fixo (Abbaspour *et al.*, 2007).

O grau para que toda incerteza seja contabilizada é quantificada por uma medida referida como P-factor, que é a porcentagem de dados delimitados pela previsão de 95% de incerteza (95PPU) (Abbaspour, 1997).

Outra medida de quantificação da análise da calibração/incerteza é o R-Factor que é a espessura média do 95PPU dividido pelo desvio padrão dos dados medidos. No método SUFI-2, o P-Factor vai de 0 a 100% e o R-Factor 0 ao ∞ . A combinação com P-Factor igual a 1 e R-Factor igual a zero, corresponde exatamente aos dados medidos. No entanto, um balanço entre os dois fatores deve ser feito (Abbaspour, 2011).

No manual do SWAT-CUP, o autor (Abbaspour, 2011) descreve resumidamente as etapas do SUFI-2, sendo que:

No passo 1: a função objetiva é definida (Nasch Stuclyffe, R2, Diferença Absoluta, etc)

No passo 2: Todos os parâmetros são uniformemente distribuídos entre a região de máximo e mínimo valores.

Passo 3: Este passo é opcional, pois é feita uma análise de sensibilidade em que os parâmetros são mantidos constantes, enquanto um deles é alterado o valor para dentro da faixa limite. Os resultados são plotados para se ter os efeitos das mudanças de cada parâmetro.

Passo 4: É rodado o programa com a técnica selecionada (SUFI-2, GLUE, Parasol);

Passo 5: Avaliar as simulações utilizando a função objetivo escolhida.

7. Banco de Dados e aplicação do SWAT

O Córrego Samambaia foi monitorado desde fevereiro a dezembro de 2013 e no local de medição foram instalados equipamentos para medições diretas e indiretas de vazão, tais como ADCP-Argonaut, linigrafo e ADV-Flow tracker, e também foram medidos os sedimentos em suspensão através da utilização do ISCO que é coletor automático de água. Além dessas medições outras foram necessárias para a entrada do SWAT, sendo obtidas através da estação meteorológica da UFG Campus II (Agronomia) (Figura 29) com série histórica de 11 anos.



Figura 29- Posicionamento da seção medidora e estação meteorológica na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (Fonte: o autor).

Os dados climáticos da bacia foram inseridos na base de dados acess do SWAT 2009 (Figura 30), os rasters de modelo de elevação do terreno e tipos de solos da bacia também são exigidos pela interface ArcSWAT e foram obtidos no site do SIEG (SIEG, 2013), já o raster de uso e ocupação do solo foi obtido pela classificação supervisionada, tal qual explicado no capítulo sobre Área de Estudo, porém para que a realidade da bacia fosse condizente com os dados do SWAT algumas adaptações no mapa de uso e ocupação do solo foram feitas objetivando a melhor descrição dos parâmetros existentes na interface do ArcSWAT, sendo que para a vegetação remanescente foi associada com a base de dados do SWAT denominada *forest mixed*, para a mata ciliar foi *forest evergreen*, o curso d'água como *water*, a urbanização assemelhou-se com *residential- medium density*, pastagem como *pasture* e para o milho foi *corn silage*.

OBJECTID	STATION	WLATITUDE	WLONGITUD	WELEV	RAIN_YRS	TMPMX1	TMPMX2	TMPMX3	TMPMX4	TMPMX5	TMPMX6
1	Sample	33.65	-95.69	179.8	83	11.7	13.9	18.8	23.6	27.6	
2	wea62	33.03	-95.92	179.8	10	11.68	13.94	18.82	23.62	27.61	30.17
4	wea43	33.25	-95.78	179.8	10	11.68	13.94	18.82	23.62	27.61	30.17
21	wea80	33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	23.62	27.61	30.17
22	Est_Gyn1	-16.66	-49.25	741.41	21	30.64	30.99	31.02	31.24	30.17	29.82
*	(Novo)										

Figura 30- Parâmetros climáticos inseridos no banco de dados (access) do SWAT.

Os parâmetros de cada tipos de solos da bacia foram obtidos pelos estudos de Baldiserra (2005) e Lima (2013) sendo para o Argissolo o primeiro estudo e os demais tipos de solos no segundo estudo. Lima (2013) mencionou que para determinação dos parâmetros de solos, 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. A textura do solo foi avaliada por meio dos métodos de peneiramento e pipetagem. A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico. A determinação da condutividade hidráulica saturada em laboratório, utilizou-se o método do permeâmetro de carga constante. As curvas de retenção de água no solo nas profundidades analisadas foram efetuadas em laboratório. O teor de matéria orgânica foi obtido por meio da oxidação. A erodibilidade do solo (Fator K da USLE) foi determinada de forma indireta por meio de equações.

Conforme Oliveira (2013), para relacionar as classes de solos existentes na bacia com o banco de dados de solos do SWAT, foram necessários adicionar as características físicas dos solos exigidas pelo modelo, dentre elas os grupos de saturação ou hidrológicos (HYDGRP), capacidade de água disponível no solo (SOL_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL_K), erodibilidade (USLE_K), profundidade máxima de solo que a raiz alcança (SOL_ZMX), porosidade (ANION_EXCL), profundidade da camada (SOL_Z), densidade aparente (SOL_BD), albedo (relativo à parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal) (SOL_ALB), conteúdo de carbono orgânico (SOL_CBN), e

porcentagem de argila, silte, areia e seixo (CLAY, SILT, SAND, ROCK respectivamente) (Figura 31).

usersoil - Microsoft Access Ferramentas de Tabela

Modos de Exibição Área de Transferência Fonte Rich Text

Novo Salvar Excluir Mais Registros

Seleção Avançado Filtros

Dimensionar para Caber Formulário Alternar Janelas Localizar

Aviso de Segurança Certos itens do conteúdo do banco de dados foram desabilitados

OBJECTID	MUID	SEQN	SNAM	SSID	CMPPCT	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	ANION_EXCI	SOL_CRK	TEXTU
189	VT094	4	CARDIGAN	NH0033	8	4	B	787.4	0.5	0.5	STV-SIL-I
190	VT094	8	DUTCHESS	VT0052	5	3	B	1651	0.5	0.5	SIL-SIL-C
191	VT094	9	STISSING	MA0050	5	3	C	1524	0.5	0.5	STV-SIL-I
192	VT094	10	WARWICK	MA0059	5	3	A	1651	0.5	0.5	FSL-SY-I
193	VT094	17	BERNARDSTON	MA0010	3	3	C	1651	0.5	0.5	STV-SIL-I
194	VT095	2	SKERRY	NH0004	9	3	C	1651	0.5	0.5	STV-FSL-L
195	VT095	3	SUCCESS	NH0052	9	4	A	1651	0.5	0.5	STV-SIL-L
196	VT095	10	PERU	NH0014	5	3	C	1651	0.5	0.5	STV-FSL-L
197	VT095	14	WAUMBEEK	NH0016	3	3	B	1651	0.5	0.5	STV-FSL-L
198	VT096	8	PILLSBURY	NH0038	5	3	C	1651	0.5	0.5	STV-L-FS
199	VT096	9	ROCK OUTCRO	DC0015	5	1	D	1524	0.5	0.5	UWB
200	VT096	11	BECKET	NH0002	5	3	C	1651	0.5	0.5	STV-FSL-L
201	VTW	7	WATER	DC0038	3	1	D	25.4	0.5	0.5	
202	VT094	10	PITS	NY0029	4	4	A	1828.8	0.5	0.5	GR--LS-G
203	VT002	3	Pve	CT0011	13	2	B	800	0.5	0	FSL-FSL-I
204	VT003	3	Cd	CT0012	13	2	C	300	0.47	0	FSL-FSL-I
205	VT004	3	Gj	CT0013	13	2	D	300	0.39	0	FSL-FSL-I
206	VT005	3	LRd	CT0014	13	3	A	300	0.3	0	FSL-FSL-I
207	VT005	3	Led	CT0015	13	3	A	300	0.3	0	FSL-FSL-I
*	(Novo)										

Registro: H 203 de 207 Sem Filtro Pesquisar

Figura 31- Parâmetros de solos inseridos no banco de dados (access) do SWAT.

Nas etapas iniciais da modelagem do SWAT versão 2009 pela interface ArcSWAT, buscou-se a maior quantidade de número de células assim as HRU's foram associadas por múltiplas conforme seu percentual (Figura 32), sem que prejudicasse o desenvolvimento computacional. Dessa forma o modelo utiliza todas as classes de solos e usos/ocupação inseridos, permitindo não perder as informações importantes da pesquisa, sendo assim foi gerado 315 HRU's.

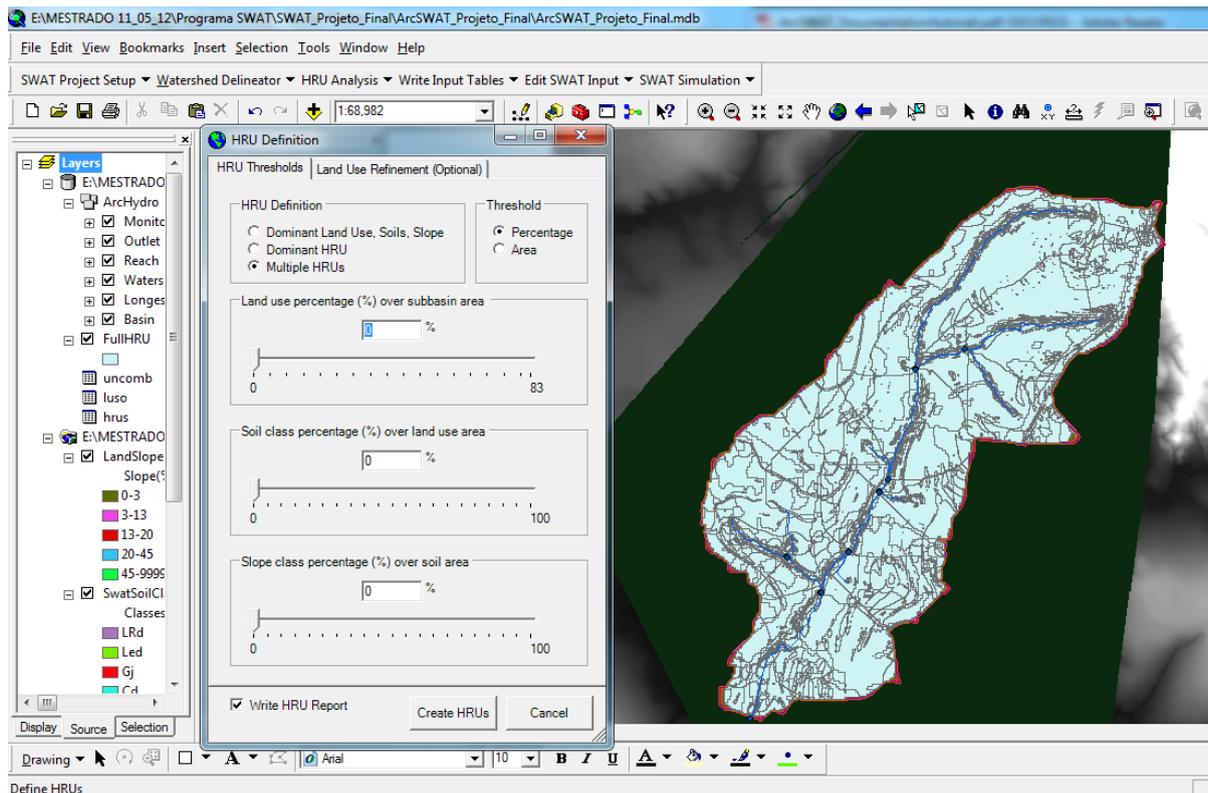


Figura 32- Determinação das HRU na interface ArcSWAT.

Os dados climáticos requisitados pelo modelo visam três objetivos principais: a estimativa da evapotranspiração potencial, o preenchimento automático de falhas e elaboração de cenários futuros, esses objetivos são alcançados através do gerador climático WXGEN. As variáveis climáticas solicitadas pelo modelo são: localização geográfica da estação, altitude, número de anos dos dados acumulados, média diária do ponto de orvalho para determinado mês (DEWPT), média de radiação solar diária para um determinado mês (SOLARAV), média diária da velocidade do vento para determinado mês (WNDV), média mensal de temperatura máxima diária (TMPMX), valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês (RAINHHMX), média mensal de temperatura mínima diária (TMPMN), desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês (TMPSTDMX), desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês (TMPSTDMN), média mensal de dias de precipitação (PCPD), média mensal da precipitação total (PCPMM), desvio padrão para a precipitação diária do mês (PCPSTD), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês (PR_W1), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês (PR_W2). Os dados diários utilizados foram médias diárias ou somas diárias relacionadas aos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar. A Tabela 13 apresenta os resultados para a média de cada mês de todos os anos da série temporal

utilizada. Os dados mensais utilizados são médias (do respectivo mês), referentes a todos os anos simulados.

Tabela 13- Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação meteorológica da UFG-Campus II.

Meses/Dados	PCPMM (mm)	PCPSTD (mm/dia)	PCPD (dia)	RAINHHMX (mm)	PCPSKW	WNDVAV (m/s)
jan	8,26	2,77	19,19	13,00	0,48	1,15
fev	8,46	2,45	19,10	13,44	0,74	0,94
mar	8,75	3,25	17,95	13,17	0,58	0,90
abr	4,00	2,47	10,71	12,85	0,40	0,89
mai	0,98	0,77	3,14	13,53	0,79	0,87
jun	0,38	0,60	1,86	17,23	2,91	0,78
jul	0,03	0,08	0,36	17,45	3,04	1,00
ago	0,37	0,57	1,50	16,06	2,24	1,24
set	1,69	1,22	6,55	13,32	0,67	1,32
out	5,00	2,81	14,14	14,45	1,32	1,22
nov	8,02	2,30	16,73	15,38	1,85	1,21
dez	9,28	2,94	20,95	13,06	0,52	1,14
Meses/Dados	TMPMX (°C)	TMPSTDMX (°C)	TMPMN (°C)	TMPSTDMN (°C)		
jan	30,64	1,36	20,25	1,53		
fev	30,99	1,17	20,25	2,01		
mar	31,02	1,27	20,14	1,66		
abr	31,24	0,96	19,57	1,93		
mai	30,17	0,91	17,26	2,35		
jun	29,96	1,05	15,39	2,67		
jul	30,75	1,01	15,17	3,21		
ago	32,75	1,06	17,34	3,73		
set	33,92	1,92	19,72	2,69		
out	33,11	2,09	20,78	2,99		
nov	31,14	1,38	20,49	1,99		
dez	30,38	1,31	20,34	1,61		
Meses/Dados	DEWPT (°C)	SOLARAV (MJ/m ² /dia)	PR_W1	PR_W2		
jan	20,05	14,50	0,43	0,82		
fev	19,97	14,83	0,56	0,73		
mar	20,01	14,17	0,40	0,79		
abr	18,26	13,49	0,23	0,57		
mai	15,26	11,18	0,08	0,35		
jun	13,26	9,79	0,05	0,37		
jul	12,00	9,83	0,01	0,13		
ago	11,44	11,21	0,03	0,33		
set	14,29	12,97	0,15	0,42		
out	17,75	14,64	0,34	0,57		
nov	19,34	14,22	0,40	0,76		

dez	20,07	13,75	0,55	0,80
-----	-------	-------	------	------

Todos os dados necessários e disponíveis foram inseridos, então passa-se a etapa da simulação do modelo, para tanto o aquecimento do programa foi de 3 anos (Figura 33).

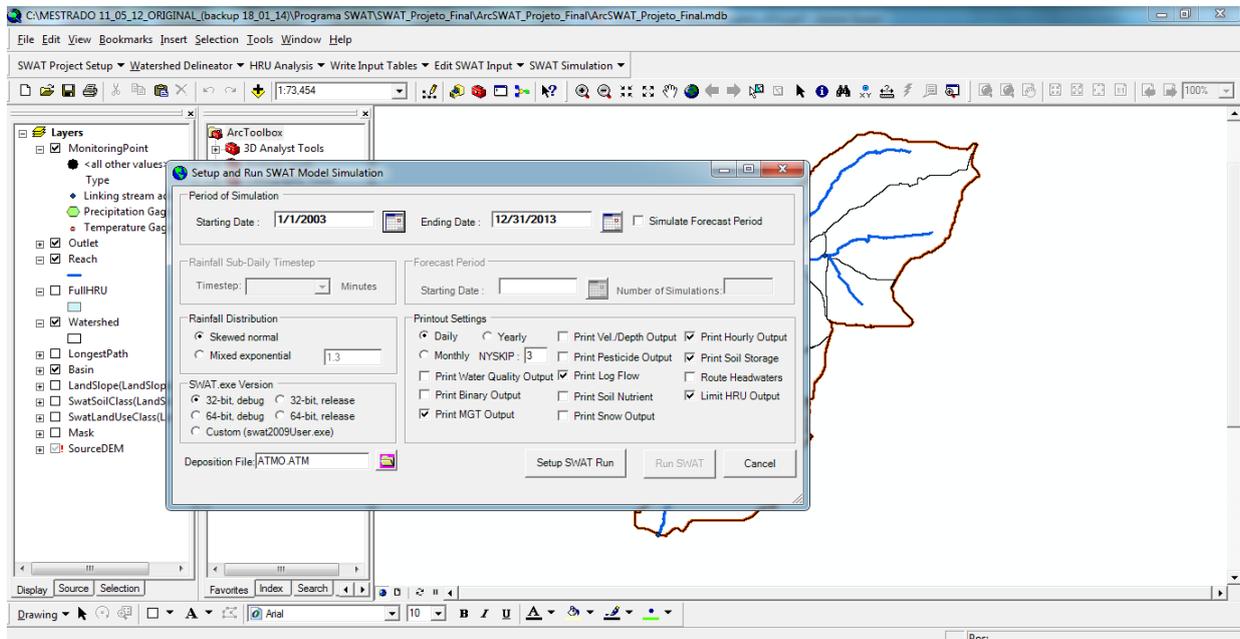


Figura 33- Janela de simulação e aquecimento da interface ArcSWAT.

O procedimento da análise de sensibilidade é importante para obter o conhecimento sobre os parâmetros com maior a menor grau de impacto sobre as simulações hidrossedimentológicas na bacia. Essa análise é possível ser realizada para os parâmetros de vazão e de sedimento, escolher a sub-bacia, bem como o modelo permite que seja processada essa etapa com ou sem dados observados, conforme destacado na Figura 34.

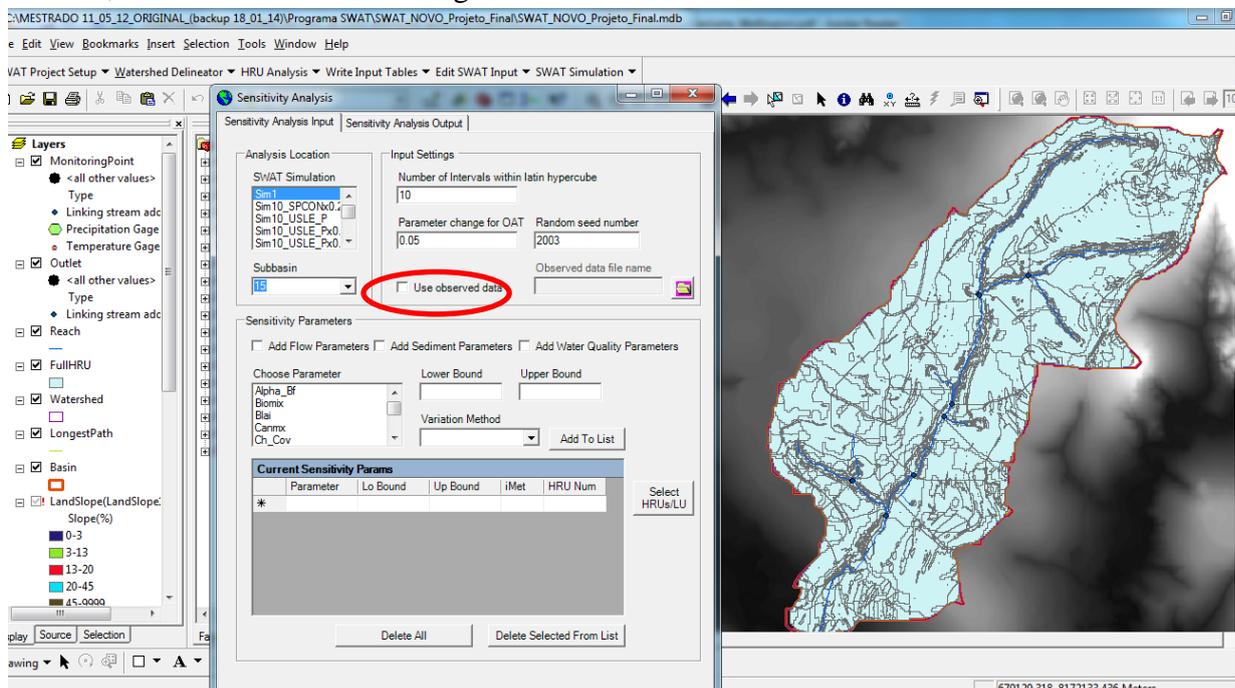


Figura 34- Janela de procedimento da análise de sensibilidade no SWAT 2009.

Da mesma forma que na análise de sensibilidade, na janela do ArcSWAT (Figura 35) permite realizar a calibração automática, tal etapa pode ser feita para os parâmetros de vazão e sedimento, optar pela sub-bacia, possibilidade da utilização de dados observados e escolha do método de calibração PARASOL, conforme explicado no item sobre o SWAT-CUP. A calibração automática realizou 20.000 simulações para os 11 anos de dados fornecidos, e nesse estudo foram necessários 7 dias ininterruptos de processamento. Para se chegar no valor ideal da simulação hidrossedimentológica foram realizadas 10 simulações no ArcSWAT e 5 simulações no SWAT-CUP 2009 (versão 4.3.7), o qual necessita de algumas informações de saída das simulações do SWAT, sendo que inicialmente é necessário direcionar o SWAT-CUP para a pasta onde estão as saídas do SWAT (TxtInOut) (Figura 36), escolher o tipo de modelo a ser utilizado: PARASOL, SUFI 2, GLUE, MCMC ou PSOL.

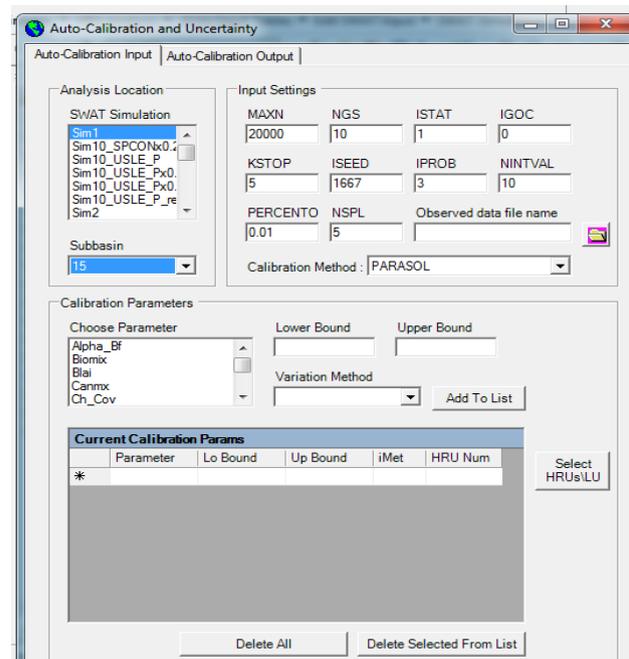


Figura 35- Janela do ArcSWAT que permite a escolha da simulação, sub-bacia e parâmetros na calibração automática.

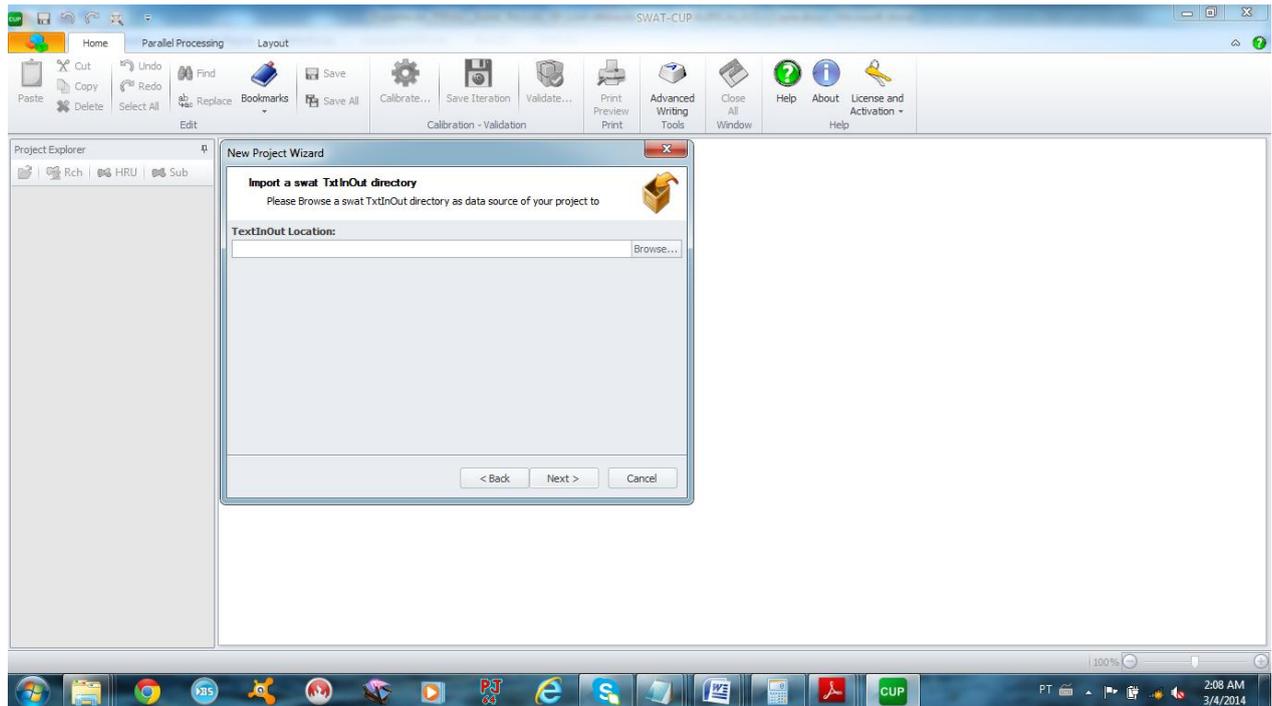


Figura 36- Janela inicial do SWAT-CUP.

Definido o tipo de modelo a ser utilizado no SWAT-CUP, então o usuário poderá modificar a entrada da calibração (*calibration inputs*) para o rio principal, ou HRU ou sub-bacias, tais alterações incluem: máximo número de simulação, mínimo e máximo dos parâmetros e quantidade desses, quantidade total de pontos medidos com seus respectivos dias medidos. Em *File.Cio* é necessário inserir o arquivo de saída do SWAT com essa mesma denominação (Figura 37). Os dados medidos deverão ser inseridos bem como ajustados os valores para a quantidade de anos de dados, informar o ano de início da calibração sem os anos de aquecimento e o passo de tempo (*time step*): diário, mensal e anual.

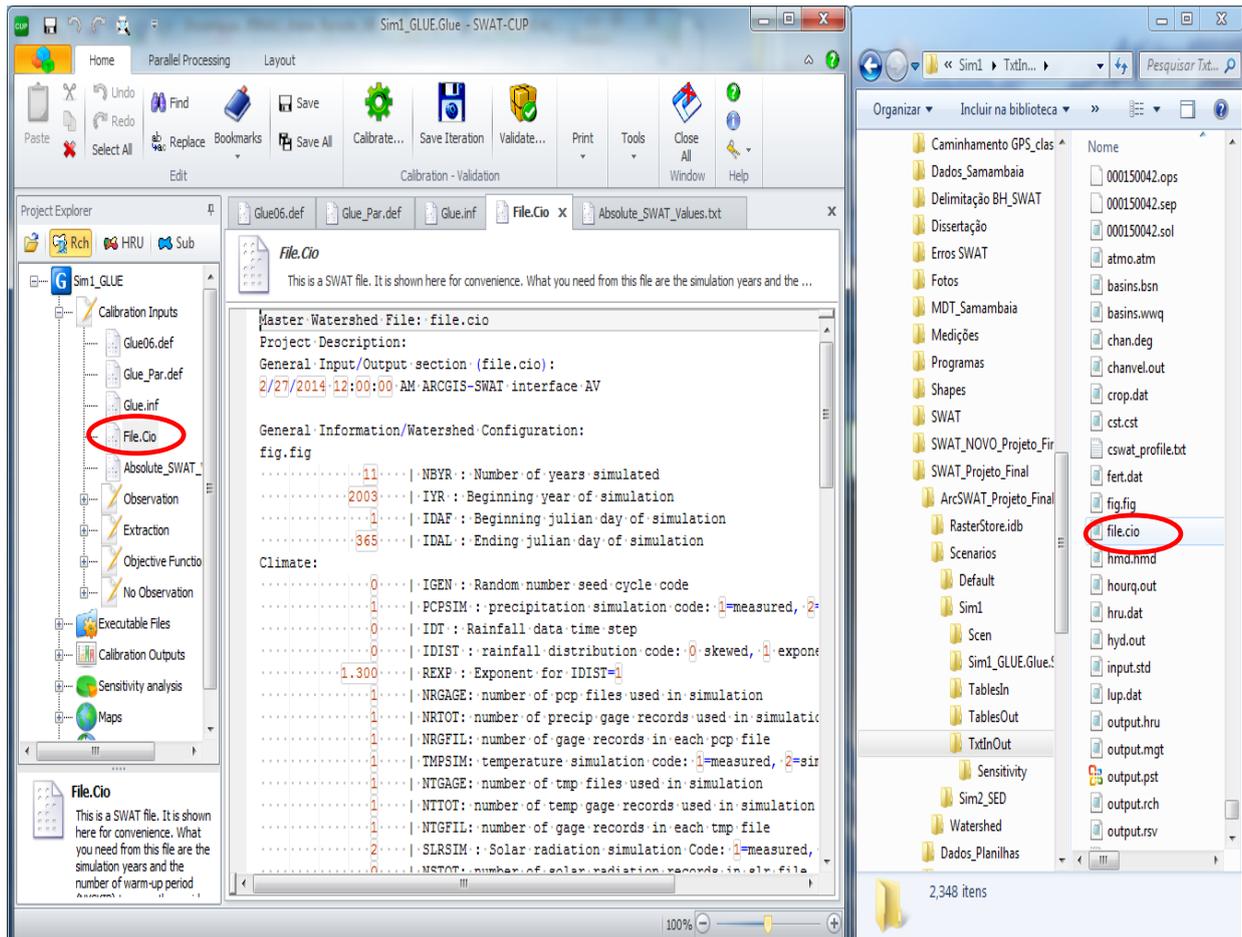


Figura 37- Janelas do SWAT-CUP eWindows Explorer, local a ser inserido o arquivo File.Cio e o arquivo de saída do SWAT nas respectivas janelas.

Essa pesquisa utilizou os modelos GLUE, PARASOL e SUFI2 no intuito de se obter os melhores valores dos parâmetros sensíveis para que esses números sejam inseridos na calibração automática do SWAT. Os parâmetros escolhidos foram àqueles que melhores se ajustaram graficamente aos dados de saída de vazão e sedimento em relação aos medidos.

Encontrado a simulação que melhor se ajustou graficamente aos dados medidos, então procedeu-se a análise estatística através do Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE).

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo digital de terreno-MDT (Figura 38) gerado para a Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia tem altitudes variando de 880 m até 697 m desaguando no Rio Meia Ponte, com elevação média de 770m na bacia.

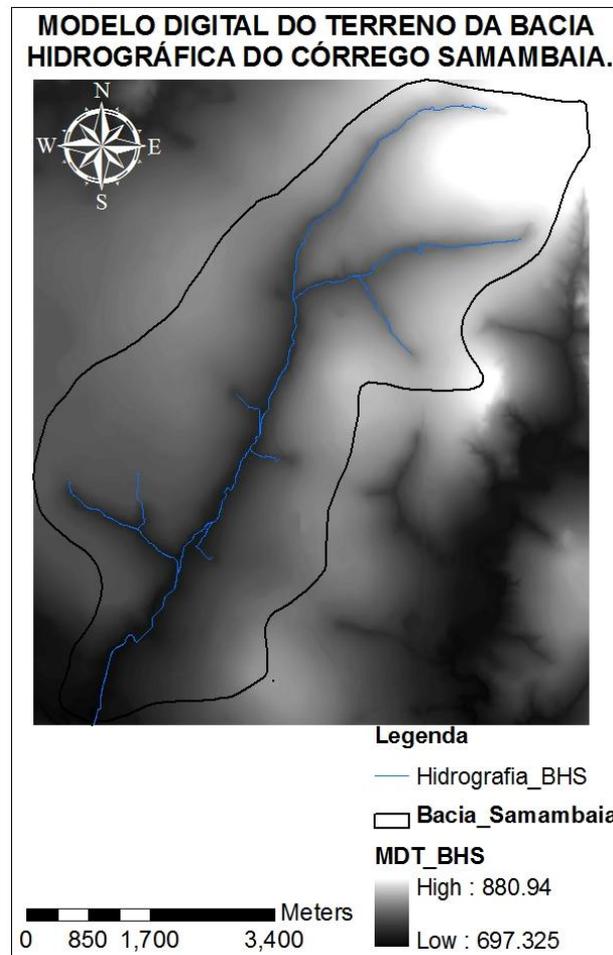


Figura 38- Modelo digital de terreno da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia.

A resolução do MDT é de 30 m, fornecendo detalhes suficientes para as características do terreno e os padrões de drenagem sejam bem representados. Conforme Machado (2002), quanto maiores as resoluções melhores representadas são as feições topográficas do terreno, pois uma resolução acima de 50 m pode levar a resultados inadequados. Há situações em que uma resolução muito detalhada do MDT, em aplicações hidrológicas, pode resultar em problemas na definição da rede de drenagem, gerando canais paralelos, não existentes na situação real.

A Tabela 14- mostra as sub-bacias com suas respectivas áreas e elevações médias.

Tabela 14- Sub-bacias, áreas e suas elevações geradas pelo SWAT.

Sub-bacia	Área (ha)	Elevação mínima (m)	Elevação média (m)	Elevação máxima (m)
1	451,2881	744	806	873
2	619,6019	733	795	879
3	64,8871	733	761	805
4	186,2243	745	794	834
5	109,7164	722	765	783
6	282,3108	723	764	806
7	72,8012	721	743	793
8	101,0168	721	771	802
9	178,3795	714	748	780
10	308,9923	719	755	781
11	138,9229	719	758	776
12	168,8114	714	755	780
13	54,0518	712	735	753
14	57,3211	712	738	770
15	425,1411	697	733	787

O SWAT sub-dividiu a bacia em unidades menores conforme o tipo de solo, uso e ocupação e declividade, gerando 15 sub-bacias, onde no local de meação localizado no canal da sub-bacia de número 6 (Tabela 15) (Figura 39).

Tabela 15- Sub-bacias da bacia do Córrego Samambaia.

SUB-BACIAS	1		2		3	
	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área
USO E OCUPAÇÃO SOLO						
Forest-Mixed	65,0996	14,43	15,8986	2,57	0,3704	0,57
Forest-Evergreen	10,3863	2,3	62,4925	10,09	-	-
Water	12,5134	2,77	3,0451	0,49	9,6221	14,83
Residential-Medium Density	31,7483	7,04	79,5444	12,84	2,2809	3,52
Pasture	333,27	73,85	459,1776	74,11	53,3433	82,21
Corn Silage	-	-	-	-	-	-
TIPOS DE SOLO						
Cd	13,1984	2,92	-	-	-	-
Led	327,6249	72,6	566,8498	91,49	65,6168	101,12
LRd	109,4591	24,25	20,6375	3,33	-	-
Pve	2,7352	0,61	32,6709	5,27	-	-
Gj	-	-	-	-	-	-
DECLIVIDADE						
0 a 3%	69,8337	15,47	170,1787	27,47	6,2975	9,71
3 a 13%	354,4899	78,55	410,8644	66,31	51,9524	80,07
13 a 20%	23,1583	5,13	28,3002	4,57	4,5478	7,01

20 a 45%	5,4564	1,21	10,6845	1,72	2,7608	4,25
45 a 99%	0,0792	0,02	0,1305	0,02	0,0582	0,09
SUB-BACIAS						
	4		5		6	
	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área
USO E OCUPAÇÃO SOLO						
Forest-Mixed	25,0105	13,43	-	-	30,1151	10,67
Forest-Evergreen	-	-	8,1776	7,45	35,3945	12,54
Water	6,1088	3,28	0,0419	0,04	5,8432	2,07
Residential-Medium Density	30,1874	16,21	35,8325	32,66	29,8588	10,58
Pasture	122,9185	66,01	65,7915	59,97	114,5335	40,57
Corn Silage	-	-	0,219	0,2	68,2961	24,19
TIPOS DE SOLO						
Cd	-	-	-	-	-	-
Led	184,2251	98,93	110,0626	100,32	284,0411	100,61
LRd	-	-	-	-	-	-
Pve	-	-	-	-	-	-
Gj	-	-	-	-	-	-
DECLIVIDADE						
0 a 3%	46,962	25,22	68,1959	62,16	46,5822	16,5
3 a 13%	131,7042	70,72	40,8556	37,24	214,1725	75,86
13 a 20%	4,1051	2,2	0,8597	0,78	18,4964	6,55
20 a 45%	1,4538	0,78	0,1514	0,14	4,7901	1,7
45 a 99%	-	-	-	-	-	-
SUB-BACIAS						
	7		8		9	
	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área
USO E OCUPAÇÃO SOLO						
Forest-Mixed	0,0466	0,17	15,4862	15,33	19,1231	10,72
Forest-Evergreen	6,9405	24,96	0,5615	0,56	25,2062	14,13
Water	-	-	-	-	8,0215	4,5
Residential-Medium Density	1,7613	6,34	-	-	50,3961	28,25
Pasture	8,0868	29,09	-	-	60,1557	33,72
Corn Silage	11,2786	40,57	83,8662	83,02	17,4829	9,8
TIPOS DE SOLO						
Cd	-	-	-	-	-	-
Led	28,1138	101,12	99,9139	98,91	180,3856	101,12
LRd	-	-	-	-	-	-
Pve	-	-	-	-	-	-
Gj	-	-	-	-	-	-
DECLIVIDADE						
0 a 3%	2,3275	8,37	36,6106	36,24	45,8274	25,69

3 a 13%	24,011	86,37	59,769	59,17	126,751	71,06
13 a 20%	1,6565	5,96	3,0684	3,04	6,6563	3,73
20 a 45%	0,1188	0,43	0,452	0,45	1,0461	0,59
45 a 99%	-	-	0,014	0,01	0,1048	0,06
SUB-BACIAS						
	10		11		12	
	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área
USO E OCUPAÇÃO SOLO						
Forest-Mixed	47,7704	15,46	19,6147	14,12	22,506	13,33
Forest-Evergreen	13,026	4,22	-	-	0,1165	0,07
Water	20,6701	6,69	0,1677	0,12	0,7595	0,45
Residential-Medium Density	136,4547	44,16	68,8296	49,55	79,104	46,86
Pasture	89,064	28,82	51,8732	37,34	64,9411	38,47
Corn Silage	-	-	-	-	0,5289	0,31
TIPOS DE SOLO						
Cd	-	-	-	-	-	-
Led	306,9851	99,35	140,4852	101,12	167,956	99,49
LRd	-	-	-	-	-	-
Pve	-	-	-	-	-	-
Gj	-	-	-	-	-	-
DECLIVIDADE						
0 a 3%	239,4556	77,5	119,6521	86,13	85,751	50,8
3 a 13%	57,6488	18,66	18,5453	13,35	81,0541	48,01
13 a 20%	8,5155	2,76	1,9617	1,41	0,9832	0,58
20 a 45%	1,3653	0,44	0,3238	0,23	0,1491	0,09
45 a 99%	-	-	0,0023	0,001	0,0186	0,01
SUB-BACIAS						
	13		14		15	
	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área	Área (ha)	%Sub.Área
USO E OCUPAÇÃO SOLO						
Forest-Mixed	14,2747	26,41	0,4962	0,87	19,0229	4,47
Forest-Evergreen	7,2434	13,4	6,4046	11,17	24,3605	5,73
Water	-	-	4,5734	7,98	23,0605	5,42
Residential-Medium Density	4,1331	7,65	12,5647	21,92	202,5397	47,64
Pasture	29,0085	53,67	33,9267	59,19	151,8966	35,73
Corn Silage	-	-	-	-	-	-
TIPOS DE SOLO						
Cd	-	-	-	-	-	-
Led	54,6597	101,12	57,9657	101,12	313,886	73,83
LRd	-	-	-	-	-	-
Pve	-	-	-	-	-	-
Gj	-	-	-	-	106,9942	25,17
DECLIVIDADE						

0 a 3%	11,656	21,56	22,1798	38,69	114,4473	26,92
3 a 13%	38,9358	72,03	32,3774	56,48	294,2923	69,22
13 a 20%	3,3176	6,14	1,5819	2,76	8,3407	1,96
20 a 45%	0,7502	1,39	1,6821	2,93	3,6345	0,85
45 a 99%	-	-	0,1444	0,25	0,1654	0,04

Sendo: Forest-Mixed, Forest-Evergreen, Water, Residencial-Medium-Density, Pasture e Corn Silage denominações dadas no banco de dados que na realidade da bacia do Córrego Samambaia significam respectivamente: vegetação remascente, mata ciliar, curso d'água (córrego, represa, lago), urbanização de média densidade, pastagem, e milho ou sorgo para silagem.

Tem-se ainda que Cd, Led, LRd, PVe, Gj os tipos de solos classificados por SIEG (2013) como respectivamente: cambissolo, latossolo, latossolo, argissolo e gleissolos.

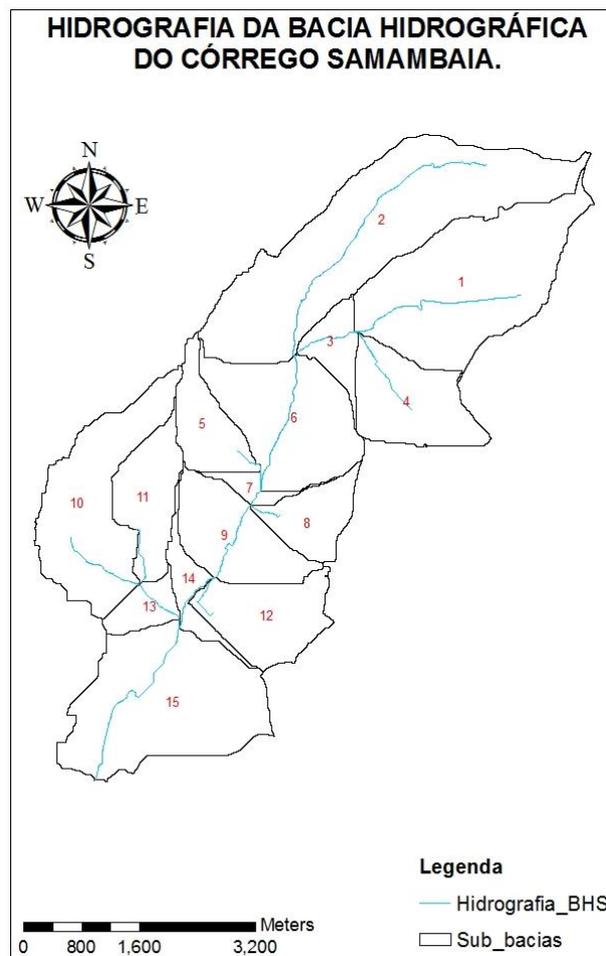
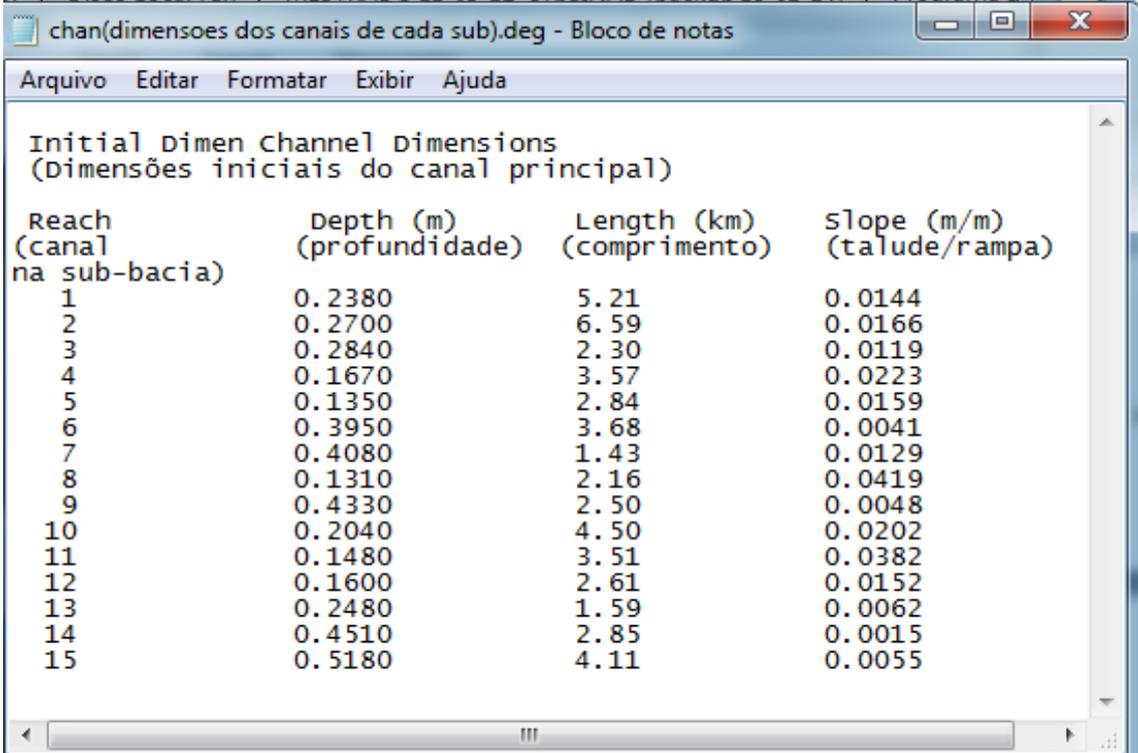


Figura 39- Mapa de hidrografia e sub-bacias geradas pelo SWAT.

O canal principal na sua extensão da nascente ao deságue no Rio Meia Ponte tem 12.157,781 m. Na Figura 40 verifica a profundidade, comprimento e declividade (talude) dos canais que compõe cada sub-bacia. Conforme informado anteriormente, a seção de medição está localizada na sub-bacia 6 e nas medições de vazão com o ADCP-Argonaut e ADV Flow-tracker (Figuras 41

e 42 respectivamente) constata que a profundidade do canal é de 0,429 m para o ADV e 0,295 m para o ADCP porém nesse deverá ser acrescido a base de concreto, para fixação no fundo, de 8cm, ou seja, a altura da lâmina d'água foi de 0,375 m, então denota que a saída do SWAT quanto as dimensões do canal está de acordo, não deixando de mencionar que foram obtidos medições de cada equipamento como ilustração mas na média a profundidade do canal está entre 0,35m a 0,49m.



chan(dimensoes dos canais de cada sub).deg - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Initial Dimen Channel Dimensions
(Dimensões iniciais do canal principal)

Reach (canal na sub-bacia)	Depth (m) (profundidade)	Length (km) (comprimento)	Slope (m/m) (talude/rampa)
1	0.2380	5.21	0.0144
2	0.2700	6.59	0.0166
3	0.2840	2.30	0.0119
4	0.1670	3.57	0.0223
5	0.1350	2.84	0.0159
6	0.3950	3.68	0.0041
7	0.4080	1.43	0.0129
8	0.1310	2.16	0.0419
9	0.4330	2.50	0.0048
10	0.2040	4.50	0.0202
11	0.1480	3.51	0.0382
12	0.1600	2.61	0.0152
13	0.2480	1.59	0.0062
14	0.4510	2.85	0.0015
15	0.5180	4.11	0.0055

Figura
40-

Janela do SWAT com as dimensões dos canais por sub-bacia, gerados pelo modelo.

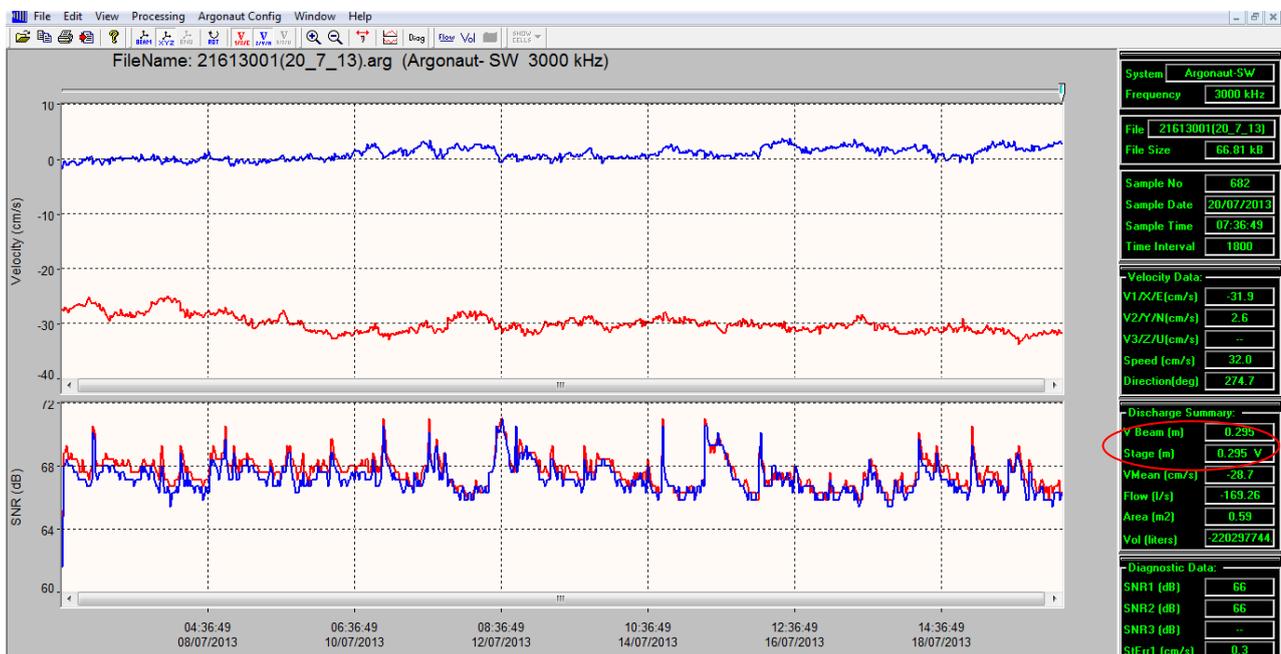


Figura 41- Medição do ADCP-Argonaut.

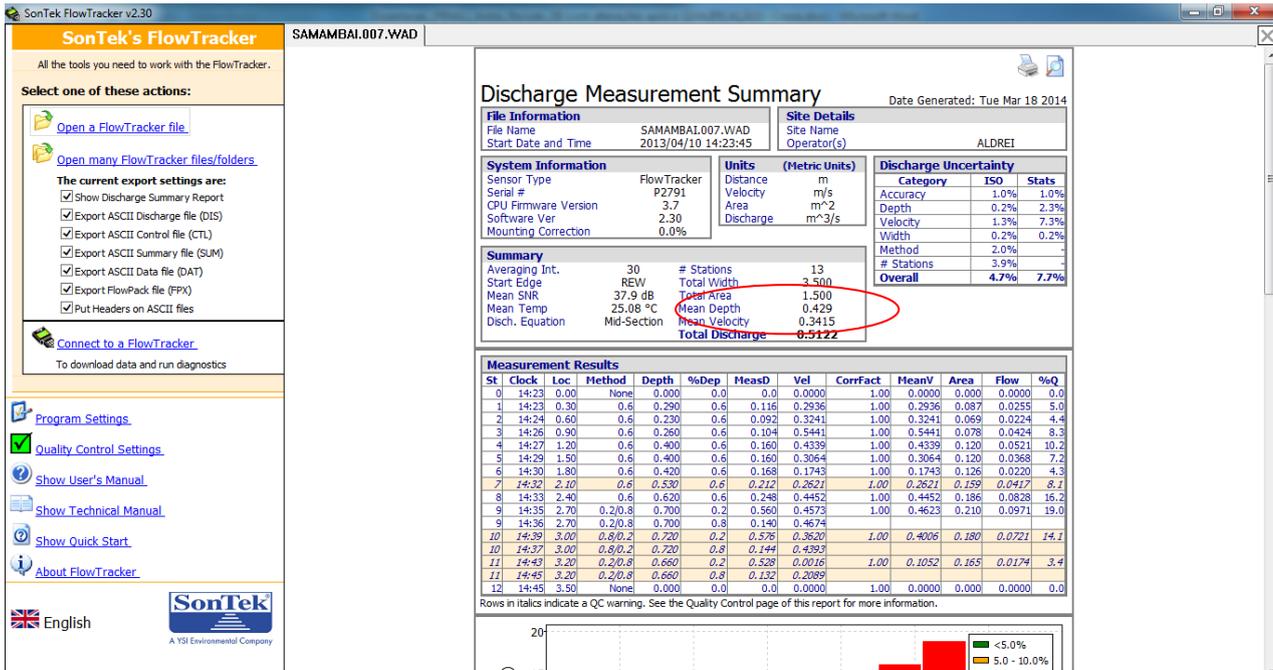


Figura 42- Medição do ADCP Flow-tracker.

A série temporal diária de 2003 a 2013 da estação climatológica da UFG no campus II foi utilizado no SWAT. As Figuras 43 e 44 mostram as chuvas no período de 2003 a 2013 e as chuvas versus cotas medidas na seção respectivamente.

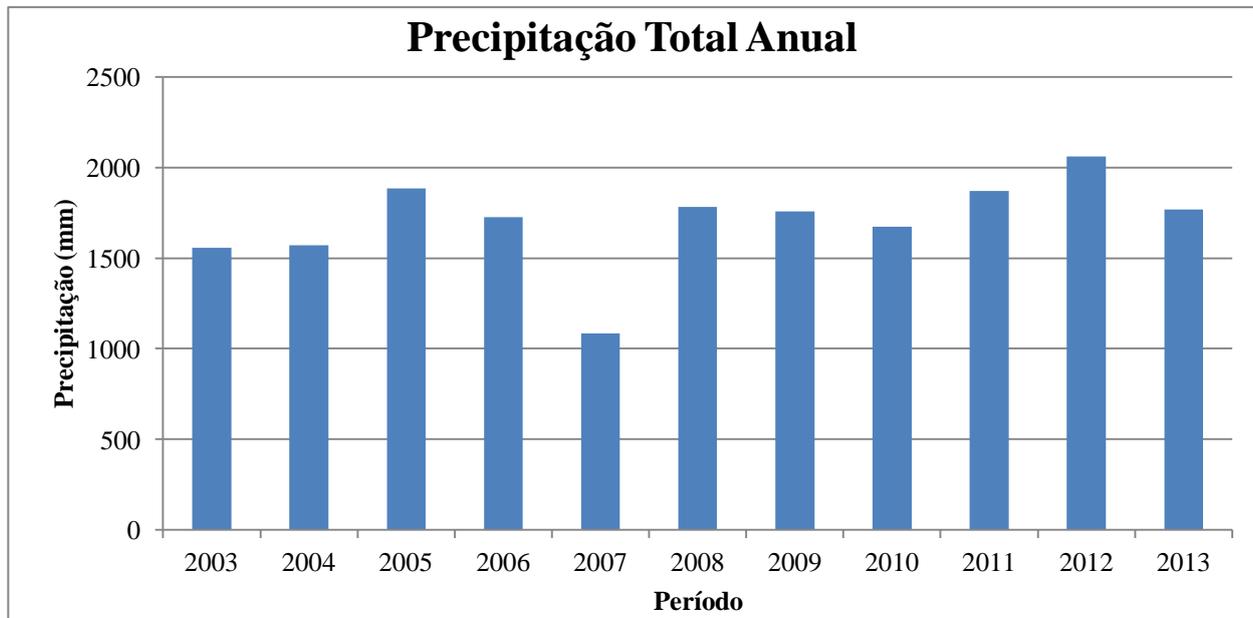


Figura 43- Precipitação anual total do período de 2003 a 2013 para a bacia do BHCS.

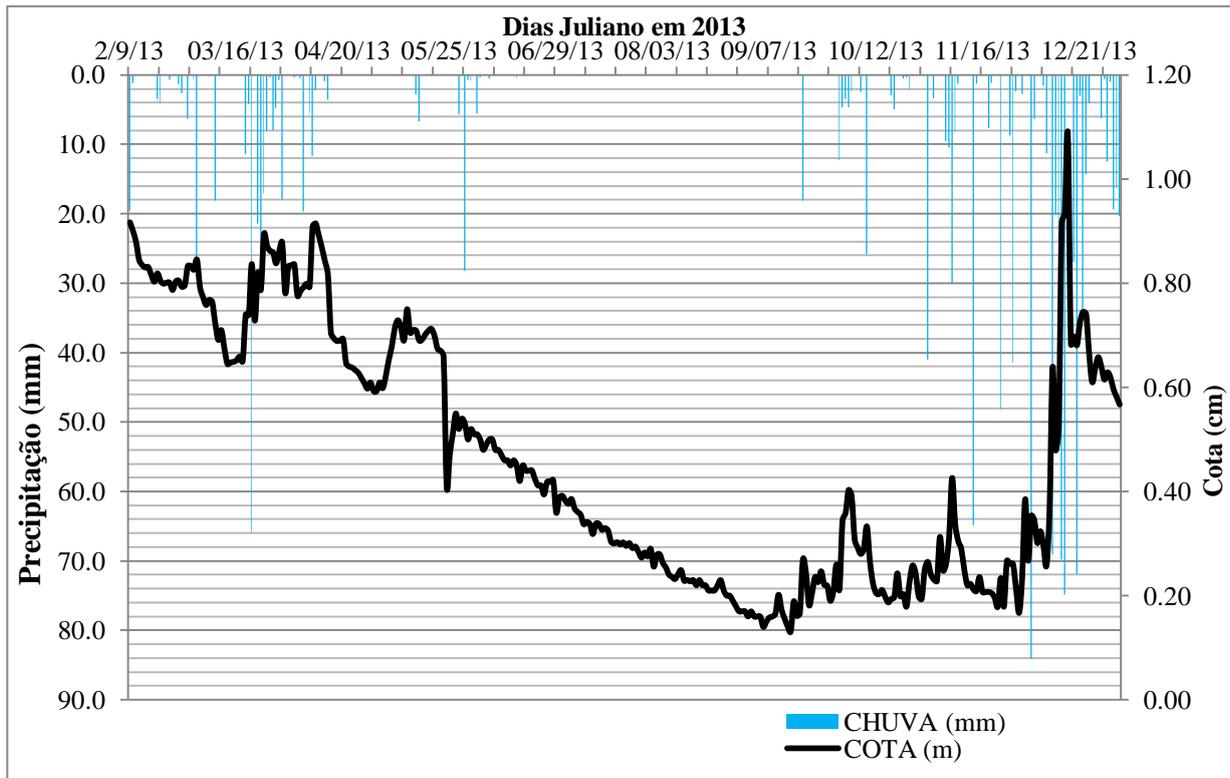


Figura 44- Gráfico de precipitação *versus* cota para a BHCS.

A partir do mês de maio as chuvas vão ficando mais escassas e as cotas vão diminuindo apesar de haver chuva no final desse mês, logo porém as cotas decresceram consideravelmente. No período chuvoso o nível d'água do córrego aumenta até cota máxima média de pouco mais de 1 metro, mesmo assim o local de medição é bem "encaixado" e não há transbordamento da calha do córrego (Figuras 45).



Figura 45- Imagem da esquerda ilustra o ponto de medição cheio (seção "encaixada"). Imagem da direita é a seção no período seco (consegue-se visualizar o ADCP-Argonaut no fundo do córrego) (Fonte: o autor).

No início do período chuvoso, o solo da bacia está seco e portanto a chuva que chega ao mesmo boa parte infiltra e o escoamento superficial é pequeno e consequentemente a elevação da

cota média do nível d'água do córrego é pequena, além do que pela classificação da EMBRAPA (1979) (Tabela 16) a BHS é classificada pelo relevo como suave ondulado, sendo 61% da área da bacia com declividade entre 3 a 8%, e portanto as primeiras chuvas do período chuvoso são responsáveis pelo umedecimento das camadas do solo gerando pouca chuva efetiva, após isso o escoamento superficial responde rapidamente ao evento chuvoso com o tempo de concentração menor que 2 horas em cada HRU e de 22 horas para toda a bacia, (Tabela 17).

O SWAT encontrou a condutividade hidráulica de 0,5000 mm/hr pois a predominância do tipo de solo na BHS é o latossolo o qual tem estrutura franco argiloso siltoso (Figura 46) com limite de condutividade hidráulica entre 0,00005 a 0,005 m/h (Tabela 18). Conforme WOODS-BALLARD (2007) pela Tabela 18 define que para o valor de 0,0005 mm/h é um solo com estrutura franco argiloso siltoso, portanto os valores da tabela acima informada certifica a saída apresentada pelo SWAT.

Tabela 16- Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	Descrição
0 a 3	Relevo plano
3 a 8	Relevo suave ondulado
8 a 20	Relevo ondulado
20 a 45	Relevo forte ondulado
45 a 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo forte mantanhoso

Tabela 17- Tempo de concentração (em horas) para cada sub-bacia gerada pelo SWAT.

Sub-bacia	Tempo de Concentração (horas)
1	22,305
2	19,943
3	6,004
4	7,723
5	9,629
6	11,444
7	7,039
8	6,621
9	10,992
10	11,309
11	8,333
12	12,355
13	7,932
14	9,163
15	18,257

	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

Figura 46- Valores médios dos parâmetros por camada e classe de solo (Fonte: Lima, 2013).

Tabela 18- Valores de condutividade hidráulica K baseado na estrutura do solo (Fonte: WOODS-BALLARD, 2007).

TIPO DE SOLO	Condutividade K (m/h)
Material de boa infiltração	
Pedregulho	10 a 1000
Solo arenoso	0,1 a 100
Solo franco	0,01 a 1
Solo franco arenoso	0,05 a 0,5
Solo franco argiloso	0,001 a 0,1
Solo franco siltoso	0,005 a 0,05
Material de baixa infiltração	
Solo franco argiloso siltoso	0,00005 a 0,005
Solo argiloso	< 0,0001
Rocha	0,000001 a 0,0001

Na Figura 47 percebe que as concentrações de sedimentos em suspensão medidos tem acompanhado as cotas medidas. Apesar das cotas medidas e concentrações de sedimento medidos serem médias diárias, são condizentes graficamente.

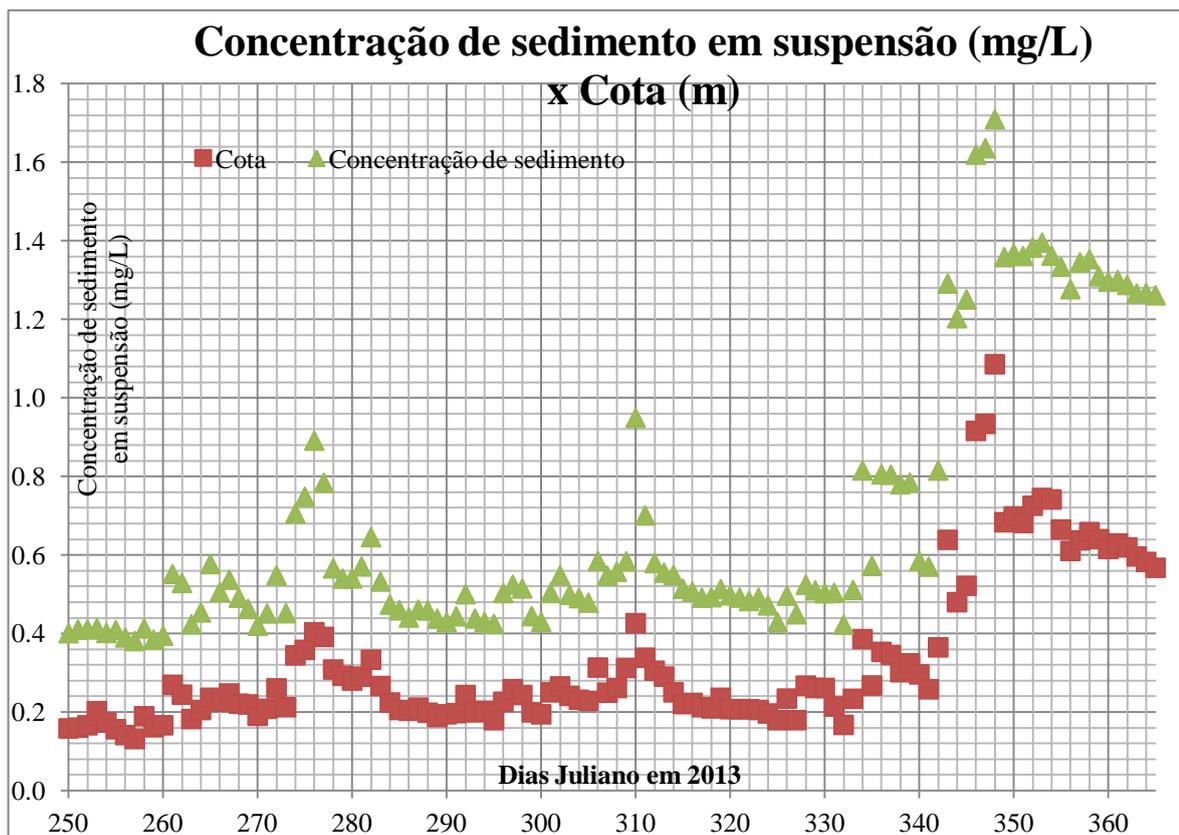


Figura 47- Gráfico da concentração de sedimento *versus* cotas medidas a partir do dia juliano de 250 em 2013 (a partir de 07 de Setembro de 2013).

Alguns dias durante o período de medição o sedimento não tem a mesma proporção que a respectiva cota, tal como é observado nos dias 276 e 277 Juliano (ou 03 e 04 de outubro de 2013 respectivamente) a cota e o sedimento tiveram quedas porém a primeira foi proporcionalmente maior que a segunda. Em 310, 348 e 349 juliano também houve a desproporcionalidade nas variações das respectivas medições de vazão e sedimento. Analisando as medições nota-se que quando há chuva os valores de cota e sedimento aumentam porém desproporcionalmente, tal fato é devido ao sedimento ser calculado indiretamente e 1 vez ao dia, as 19 horas diárias, muitas vezes não coletando o pico diário, ou então quando a máxima diária ocorre no momento da aquisição de dados de sedimento então o valor da vazão continua sendo a média diária suavizando o valor porém mais real.

O Tabela 19 descreve o procedimento para o traçado da curva-chave fluviométrica bem como os valores dos parâmetros da curva adotada.

Tabela 19- Procedimento adotado para traçado da curva-chave fluviométrica.

Procedimento para traçado da curva-chave:	
$Q = a \cdot (h - h_0)^n$	
*Adota-se dois pontos extremos do segmento de curva que se queira ajustar, definidos por (H1,Q1) e (H2,Q2) as máximas e mínimas do segmento, respectivamente.	
*A partir desses pares de dados, calcula-se a vazão Q3, dada pela seguinte expressão: $Q3 = (Q1 \cdot Q2)^{1/2}$	
*Traçando-se uma curva aproximada no gráfico, obtém-se o valor de h3 correspondente a Q3.	
*O valor de h0 é dada pela expressão: $h_0 = (h1 \cdot h2) - (h3^2) / h1 + h2 - (2 \cdot h3)$	
(o valor de h3 deverá ser levemente alterado até que o valor de h0 esteja arredondado na 2a casa decimal).	
*O valor de n é obtido: $n = \log Q1 - \log Q2 / \log(h1 - h_0) - \log(h2 - h_0)$	
*O valor de a é: $a = Q1 / (h1 - h_0)^n$	
(H1xQ1) = (0,16x78,35)	
(H2xQ2) = (0,44x239,00)	
Q3 = (78,35x239)^1/2	136.842
h3 (obtido no gráfico)=	0.26
h0 =	0.035
n =	0.94871
a =	563.390
$Q = 563,390 \cdot (H - 0,035)^{0,948}$	

Na Figura 48 está localizado o valor encontrado graficamente (Q3 x h3) como parâmetro da curva-chave conforme procedimento descrito no quadro acima.

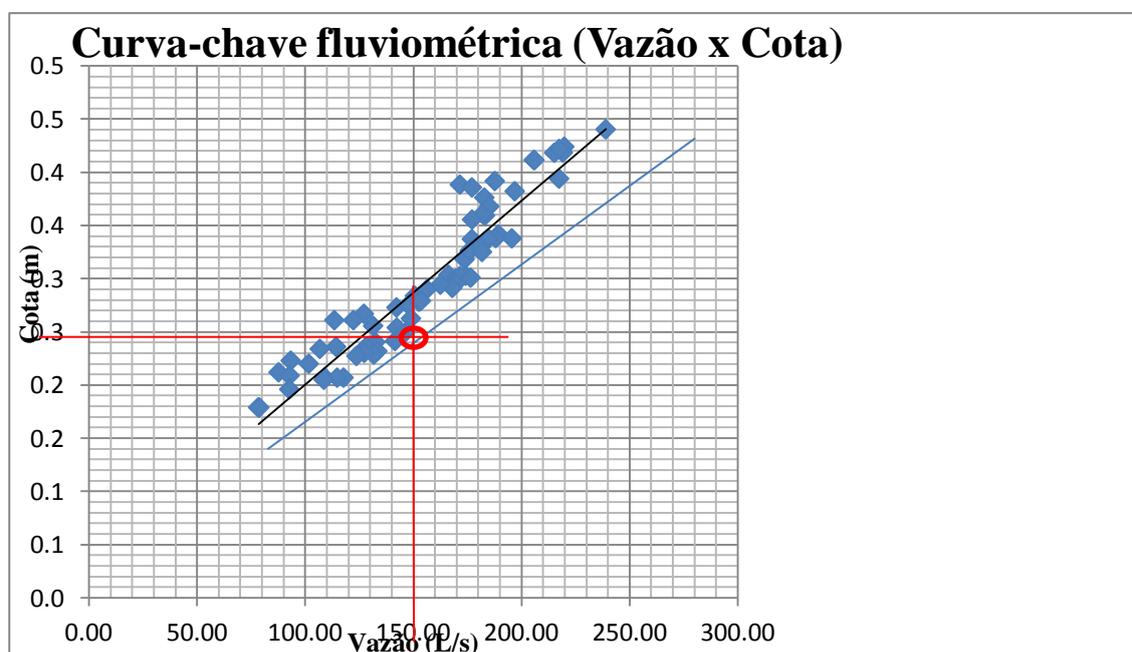


Figura 48- Gráfico vazão x cota (curva-chave fluviométrica).

Em projeto de pesquisa a segurança com os equipamentos de medições são fundamentais, pensando nisso o ISCO foi instalado em setembro de 2013 onde coincide com a proximidade do período chuvoso, portanto não há valores diários de sedimento em suspensão antes do mês de setembro, para tal a curva-chave sedimentométrica foi definida plotando os valores medidos de vazão *versus* sedimento e traçado uma linha de tendência a qual a que melhor se ajustou foi linha de tendência linear para o gráfico bi-log com R^2 igual a 0,9447 (Figura 49).

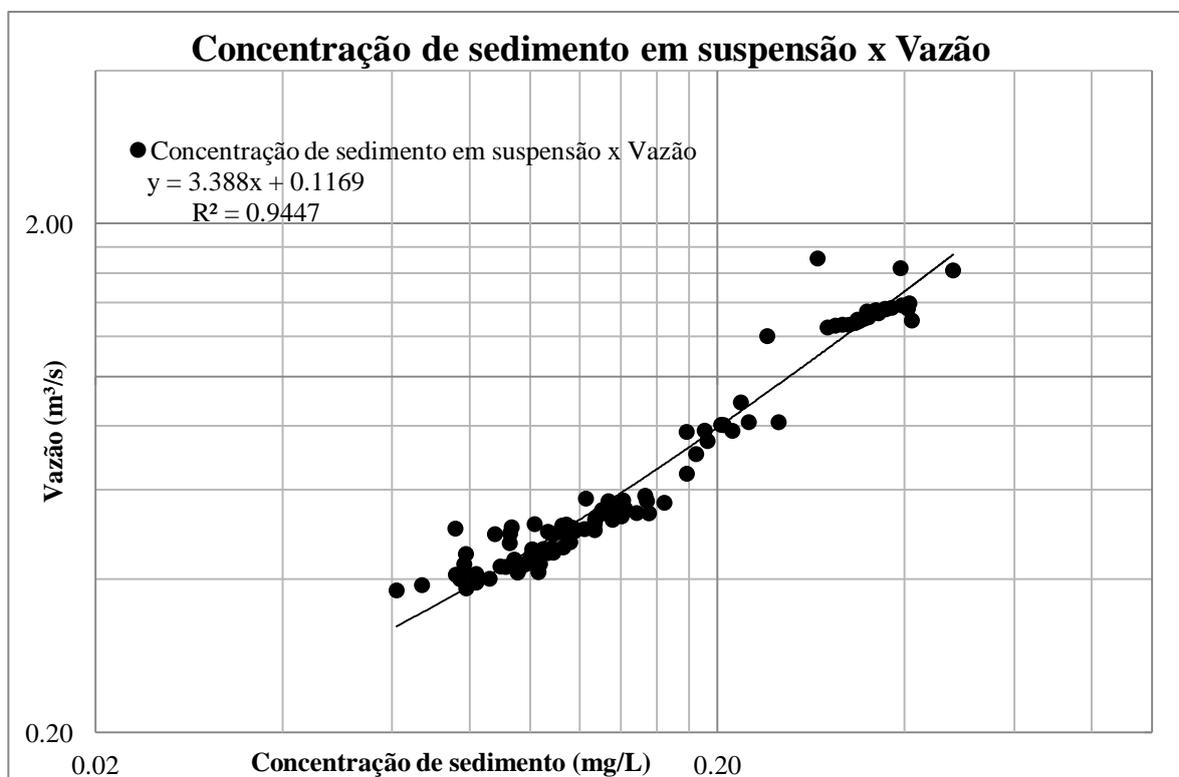


Figura 49- Concentração de sedimento em suspensão x Vazão.

Os resultados da simulação do escoamento superficial e sedimento em suspensão foram comparados com os dados medidos de vazão e sedimento em suspensão. Após a primeira simulação do escoamento (Figura 50), sem calibração, chegou-se a resultado que não condizia com a realidade, o modelo superestimou fortemente as vazões máximas e subestimou as vazões mínimas, para tal fez-se necessário a análise de sensibilidade (Figura 51) para a vazão e na Tabela 20 estão os parâmetros gerados. Posteriormente a análise de sensibilidade procedeu-se a auto-calibração dos dados (Figura 52), mesmo assim a auto-calibração não divergiu dos valores encontrados na simulação, pois os valores dos parâmetros não foram alterados como ilustrado na Figura 53.

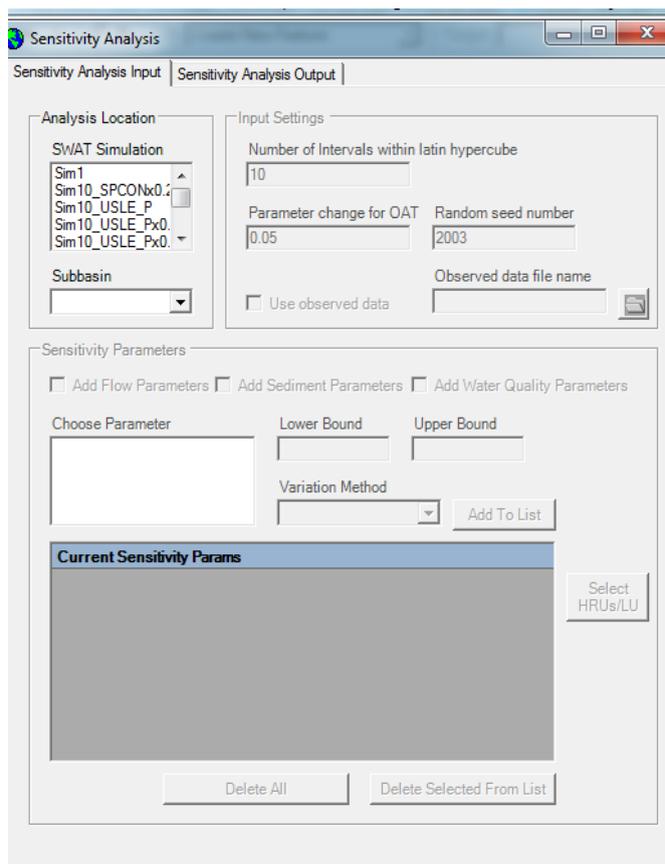


Figura 50- Janela da interface ArcSWAT para a análise de sensibilidade.

Tabela 20- Ranking do parâmetros de vazão sensíveis, realizado na primeira análise de sensibilidade.

Descrição	Parâmetros de vazão	Ranking	Valor médio
Fator de compensação da evaporação do solo	Esco	1	0,478
Capacidade de água na primeira camada do solo (m/mm)	Sol_Awc	2	0,105
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer o fluxo de retorno	Gwqmin	3	0,0814
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer a "revap" (percolação)	Revapmn	4	0,0574
Profundidade da primeira camada de solo	Sol_Z	5	0,0518
Coeficiente de "revap" (percolação)	Gw_Revap	6	0,0446
Fator alfa do fluxo de base (dias)	Alpha_Bf	7	0,0299
Máximo potencial do índice de área foliar da cobertura vegetal	Blai	8	0,0285
Armazenamento máximo no dossel	Canmx	9	0,0234
Valor inicial do método de curva número do SCS	Cn2	10	0,0231
Condutividade hidráulica efetiva no canal principal	Ch_K2	11	0,0177
Fator de compensação da absorção pelas plantas	Epc0	12	0,0120
Valor de "n" de Manning no canal principal	Ch_N1	13	0,0119
Declividade / talude	Slope	14	0,0110
Condutividade hidráulica saturada na primeira camada de solo (mm/hr)	Sol_K	15	0,00732

Atraso de águas subterrâneas (dias)	Gw_Delay	16	0,00304
Albedo do solo úmido na primeira camada do solo	Sol_Alb	17	0,00156
Coefficiente de atraso do escoamento superficial	Surlag	18	0,00144
Eficiência de mistura biológica	Biomix	19	0,000773
Comprimento da declividade média	Ssubbsn	20	0,000238
Temperatura de queda de neve (°)	Sftmp	27	0.000
Taxa mínima de fusão para a neve durante o ano (mm H2O/°C/day)	Sfmfn	27	0.000
Taxa máxima de fusão para a neve durante o ano (mm H2O/°C/day)	Sfmfx	27	0.000
Temperatura base do derretimento da neve (°C)	Smtmp	27	0.000
Fator de temperatura do bloco de neve	Timp	27	0.000
Taxa de cálculo para temperatura (°C/km)	Tlaps	27	0.000

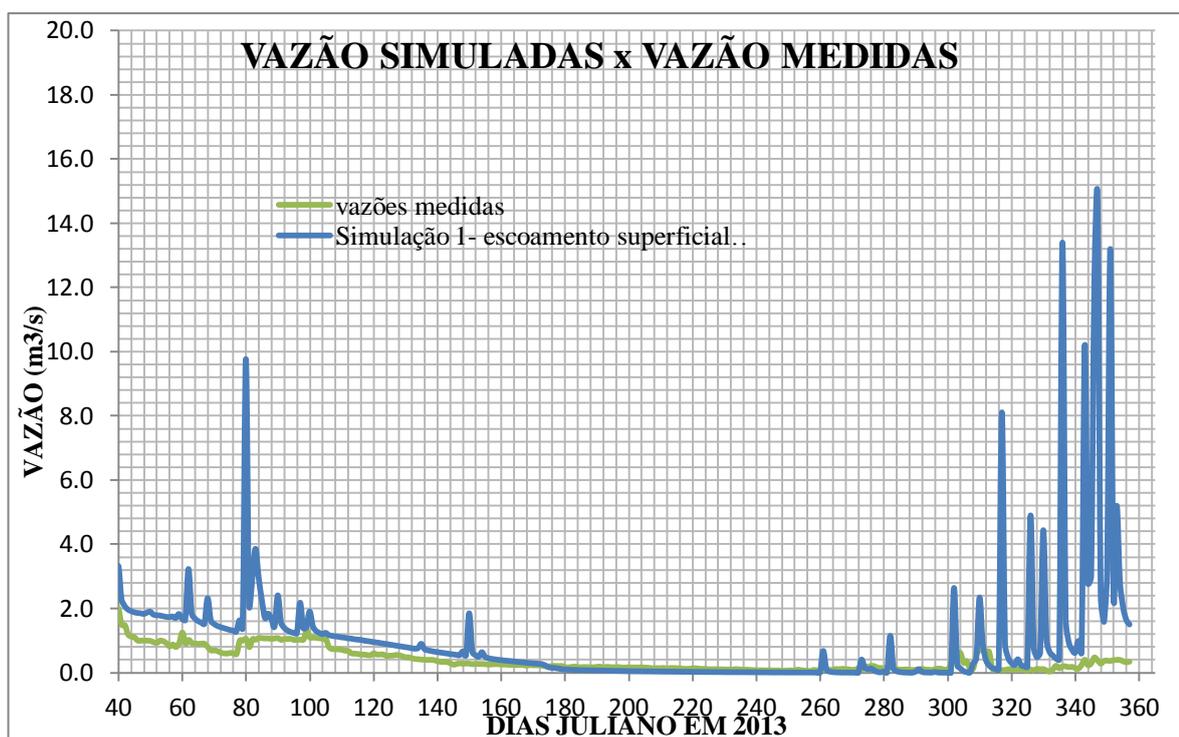


Figura 51- Primeira simulação do SWAT.

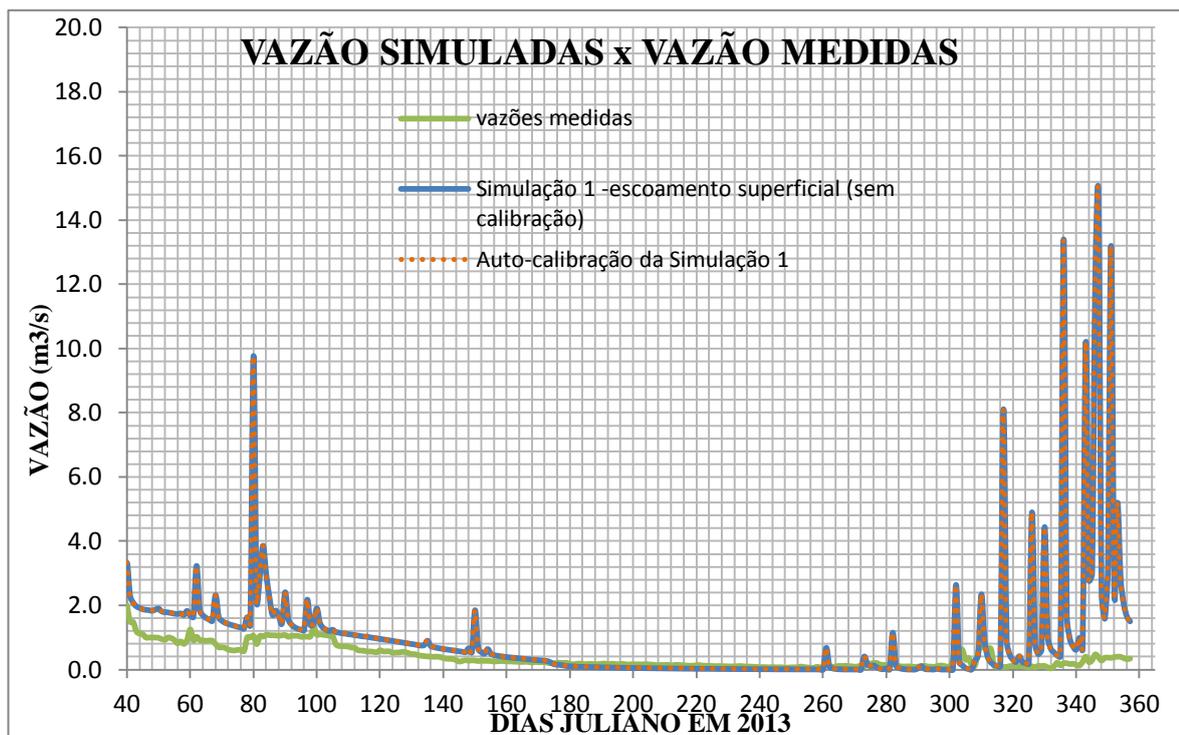


Figura 52- Primeira auto-calibração da simulação 1 do SWAT.

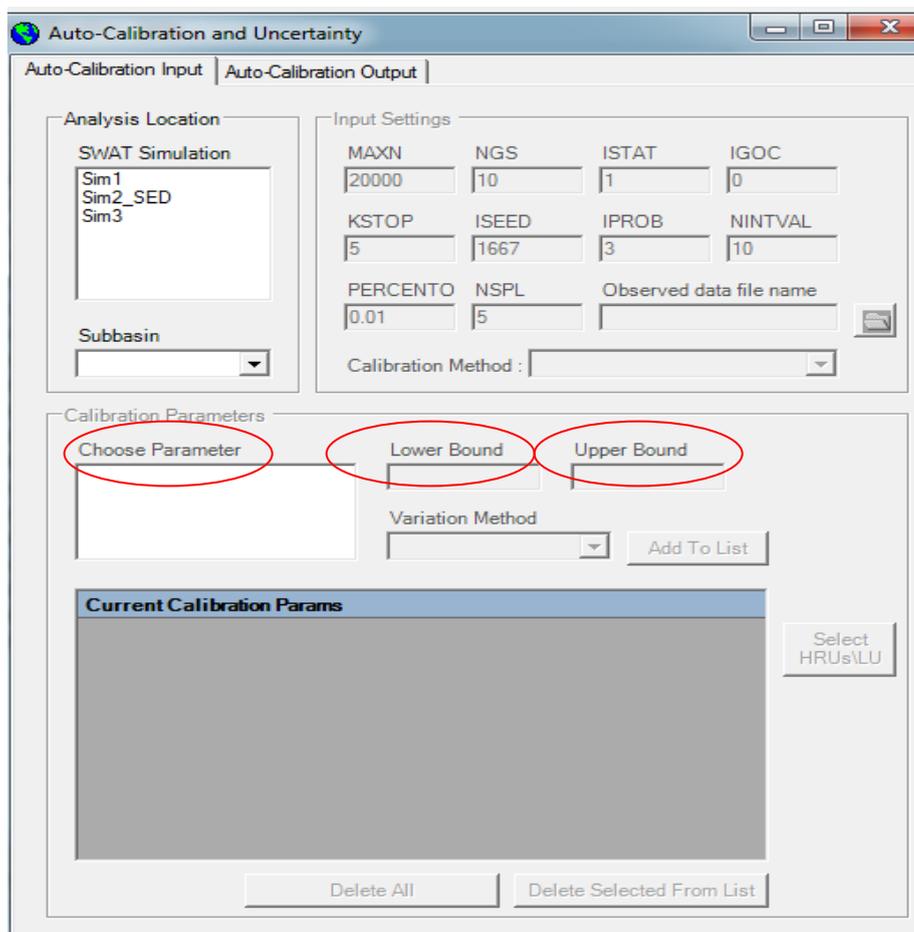


Figura 53- Janela de auto-calibração no SWAT.

A terceira simulação apresentou resultado mais satisfatório porém ainda não é o desejável, pois as vazões máximas continuam superestimadas mas as vazões mínimas estão graficamente acompanhando as vazões medidas (Figura 54).

Com as saídas da simulação de número 3, então procedeu a análise pelo SWAT-CUP utilizando o método Parasol (Figura 55), no intuito de aprimorar os valores de vazão já que no SWAT pela interface ArcSWAT é utilizado o método do Parasol.

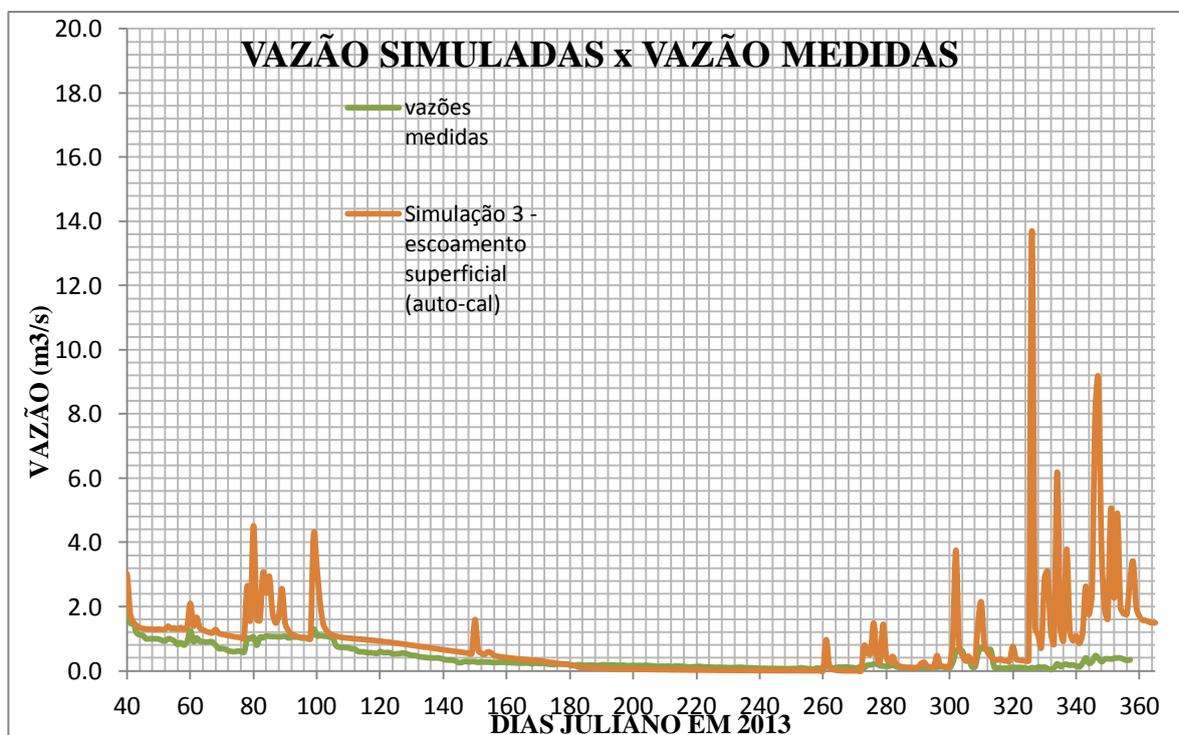


Figura 54- Terceira simulação com auto-calibração do SWAT.

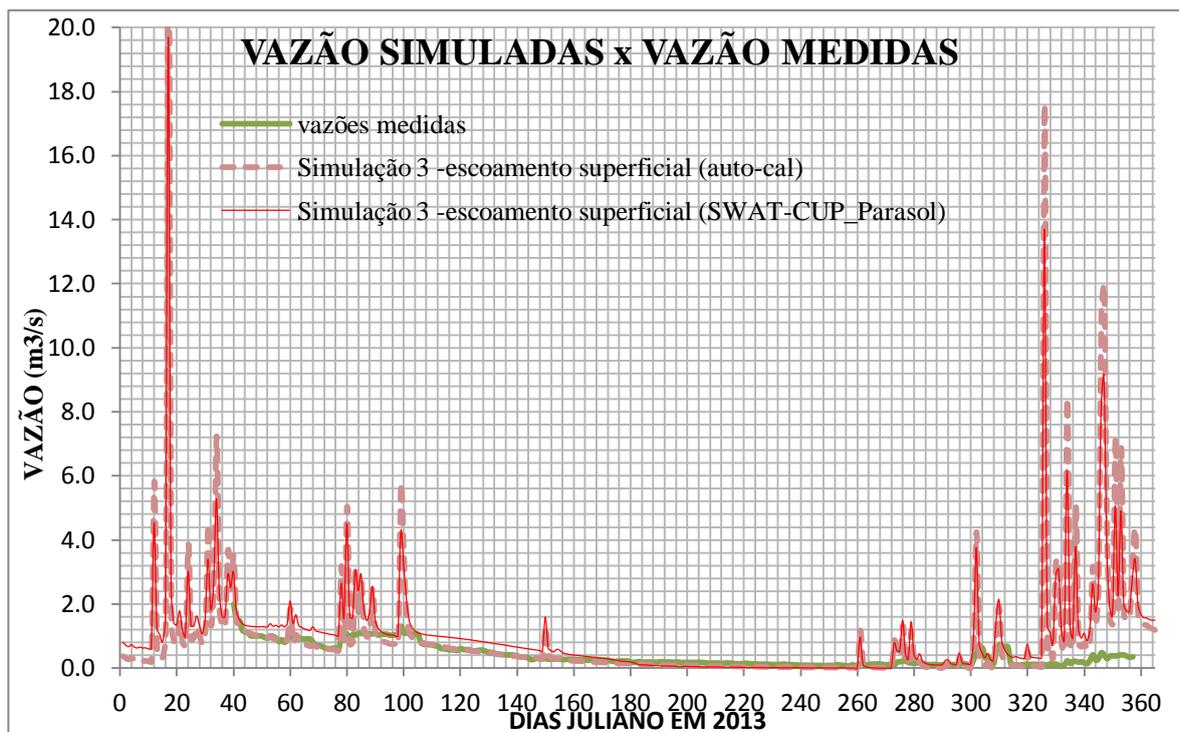


Figura 55- Terceira simulação com auto-calibração do SWAT e SWAT-CUP pelo método Parasol.

A obtenção de um resultado pouco mais condizente após a calibração no SWAT-CUP motivou utilizar os parâmetros de saída desse em nova simulação no SWAT, o que resultou na quinta simulação no SWAT (Figura 56). A quarta simulação apresentou erro no programa e foi desconsiderada. Com os dados de saída da quinta simulação foram inseridos no SWAT-CUP para os métodos SUFI 2, Parasol e Glue (Figura 57), no intuito de conseguir melhor resposta do modelo e reuplicar os parâmetros sensíveis com seus respectivos valores em outra simulação no SWAT.

Na Simulação de nº 5 ocorreu redução nos picos de vazão, ou seja, as vazões máximas reduziram mas no período de resseção os valores das vazões simuladas foram inferiores as medidas. Ao analisar o resultado dessa simulação primeiramente foi plotado o gráfico da simulação com a chuva (Figura 58) e verificado que as vazões estão correspondendo com as precipitações, por exemplo em 31/03/2013 a forte chuva gerou aumento da vazão pois anteriormente a esse dia o comportamento da vazão era de decréscimo, e a resposta acentuada da vazão com as fortes chuvas no final do mês de Março ao final de Abril ocorreu de igual forma. Após o período seco, a partir de meados de outubro até o final do ano de 2013 o córrego Samambaia teve seus maiores valores de vazões simuladas. Com essa análise da chuva em relação a vazão simulada percebe-se que a saída do SWAT tem acompanhado aos eventos chuvosos, mas ainda não está ideal em relação aos valores medidos, portanto os valores dos parâmetros que geram o escoamento superficial devem ser analisados com maior critério. Pensando nisso, depois

de várias simulações foi modificado o valor de entrada do coeficiente de Manning, que outrora era mantido pelo banco de dados do SWAT e na Figura 59 ilustra as etapas para a escolha desse coeficiente.

Na simulação no SWAT-CUP, após a quinta simulação no SWAT, verifica que entre os métodos aplicados o Sufi2 foi o que melhor representou as vazões medidas tendo as vazões máximas reduzidas e as vazões mínimas foram condizentes com as medidas, porém ainda as máximas continuam destoantes das reais do campo.

No intuito de modificar o coeficiente de Manning e inserir os limites máximos e mínimos dos parâmetros sensíveis gerados pela simulação no SWAT-CUP pelo método Sufi 2, procedeu-se em nova simulação no SWAT a qual foi a de número dez, mas para alterar o valor de Manning foi necessário iniciar um novo projeto na interface ArcSWAT, ou seja, inserir novamente os dados de MDE, uso e ocupação, tipos de solos, reclassificar as HRU, dados climáticos, porém foram mantidos todos esses dados que haviam sido inseridos até então nessas simulações citadas acima.

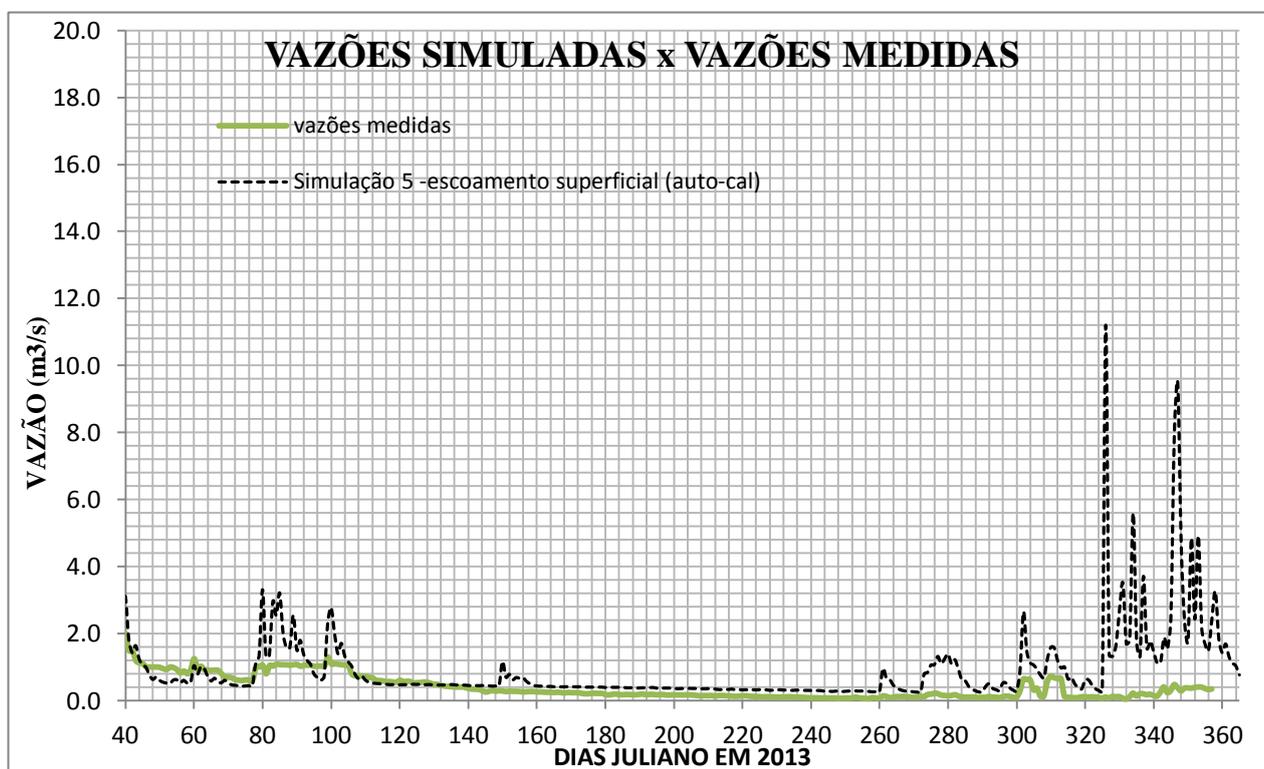


Figura 56- Simulação 5 com auto-calibração do SWAT.

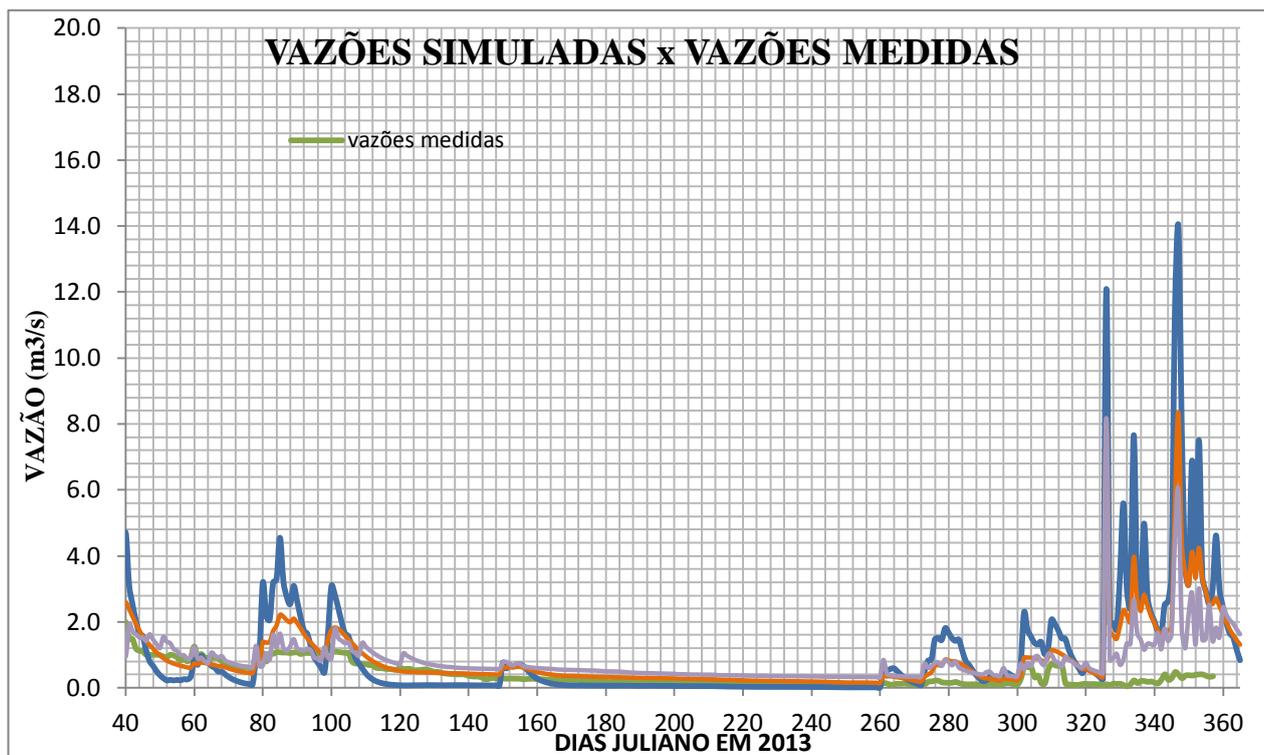


Figura 57- Simulação no SWAT-CUP utilizando os métodos Parasol, Glue e Sufi2.

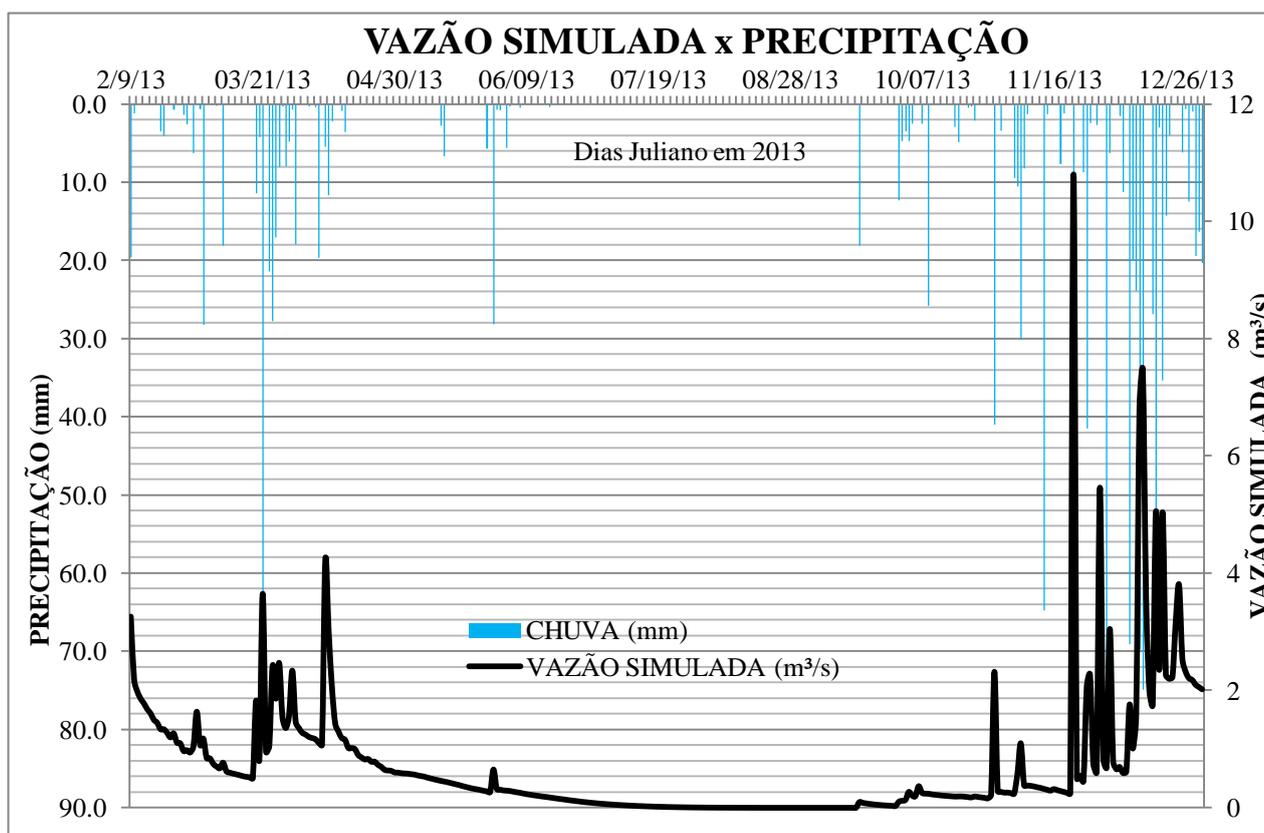


Figura 58- Vazão Simulada (Quinta Simulação) versus Precipitação.

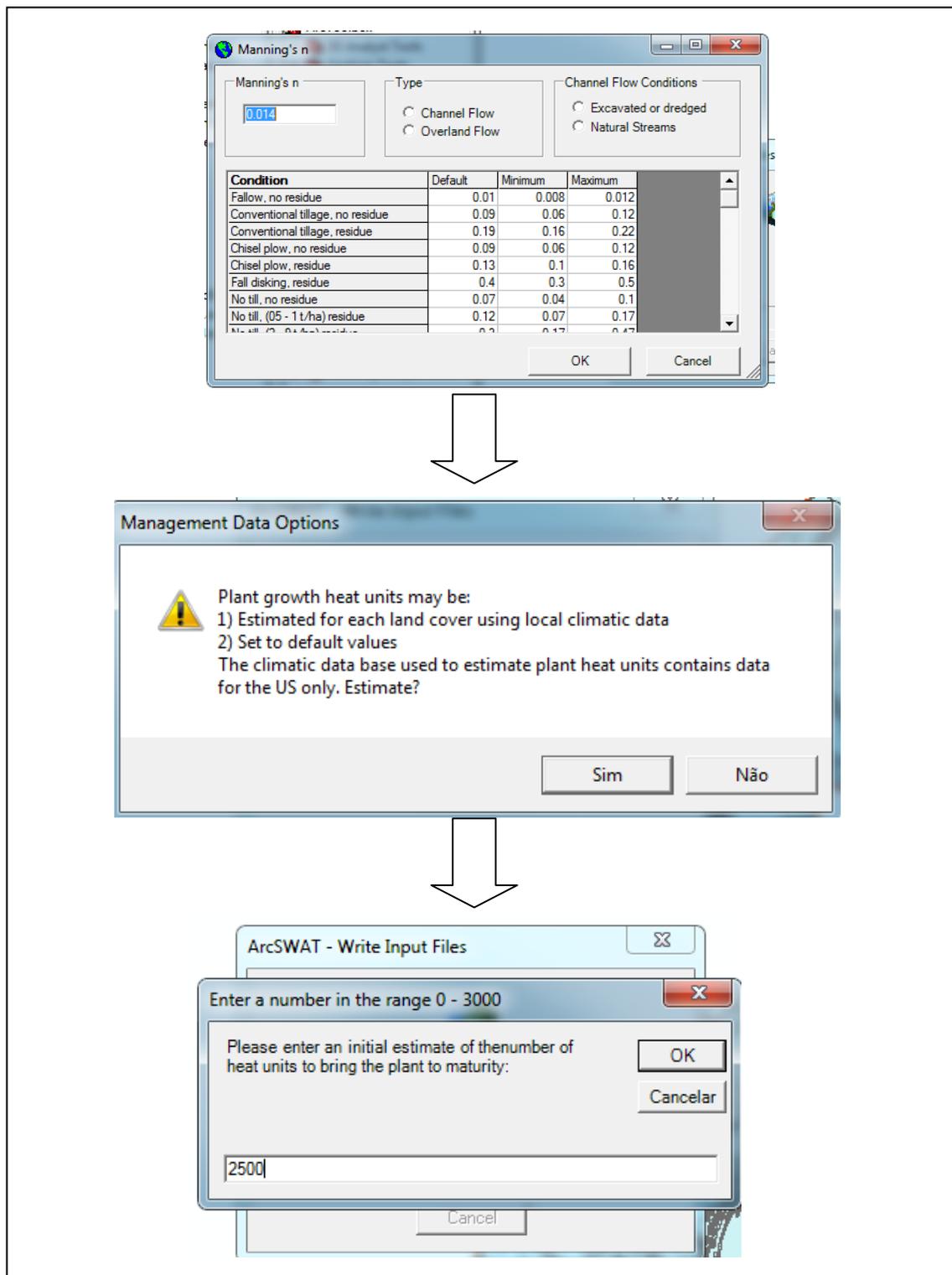


Figura 59- Janelas do SWAT em sequencia para a escolha do coeficiente de Manning.

Na Figura 60 estão plotados os valores das vazões medidas e simuladas por essa última simulação citada (projeto novo), portanto verifica-se graficamente que as vazões máximas acompanham as medidas e nas vazões mínimas há um pequeno deslocamento para baixo da curva simulada em relação a medida onde no dia juliano igual 190 do ano de 2013 (09 de julho de 2013)

ocorre a diminuição dos valores simulados em relação aos medidos mas no dia juliano de 276 (03 de outubro) as vazões simuladas aumentam e tem pico maior que as medidas, porém após esses dias chuvosos no dia 300 (27 de outubro) já estabiliza o acompanhamento entre os valores medidos e simulados.



Figura 60- Simulação 10 com auto-calibração do SWAT.

Mediante o resultado da simulação 10, foi feita a análise estatística pelo Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe - COE o qual apresentou valor de 0,80 sendo considerado boa correlação entre vazão medida e calculada.

Nas Tabelas 21 e 22 estão os valores dos quinze primeiros parâmetros cujas simulações foram descritas acima. E na Tabela 23 está a descrição de cada parâmetro encontrados nas simulações.

Tabela 21- Valores médios dos quinze primeiros parâmetros.

		Simulação 1 (auto-calibração)	Simulação 3 (auto-calibração)	Simulação 3 (SWAT-CUP_auto-calibração)	Simulação 5 (auto-calibração)
Parâmetros de escoamento superficial	Ranking	Valores médios			
Esco	1	0,00696	0,478	0,518	0,102
Sol_Awc	2	36,086	0,105	0,115	0,0257
Gwqmin	3	0,295	0,0814	0,518	0,00302
Revapmn	4	0,144	0,0574	0,0106	0,00305
Sol_Z	5	0,146	0,0518	0,0631	0,0281

Gw_Revap	6	1,265	0,0446	0,134	0,00630
Alpha_Bf	7	0,0177	0,0299	0,2170	0,0135
Blai	8	37,214	0,0285	0,0659	0,000
Canmx	9	3,373	0,0234	0,0498	0,0591
Cn2	10	10,947	0,0231	0,0175	0,197
Ch_K2	11	2,432	0,0177	0,0691	0,0128
Epc0	12	0,00404	0,0120	0,0164	0,000
Ch_N1	13	0,0379	0,0119	0,0914	0,301
Slope	14	0,0213	0,0110	0,0104	0,177
Sol_K	15	0,000538	0,00732	0,00270	0,00619

Tabela 22- Valores médios dos quinze primeiros parâmetros.

Simulação 5 (SWAT-CUP_Sufi2)			Simulação 10 (auto-calibração)		
Parâmetros	Ranking	Valores médios	Parâmetros	Ranking	Valores médios
Usle_P	1	2,99	Cn2	1	1,36
Surlag	2	0,594	Usle_P	2	1,29
Cn2	3	0,197	Alpha_Bf	3	1,14
Slope	4	0,177	Ch_N2	4	0,030
Esco	5	0,102	Spcon	5	0,956
Canmx	6	0,0591	Surlag	6	0,813
Ssubbsn	7	0,0422	Ch_K2	7	0,711
Sol_Awc	8	0,0257	Spexp	8	0,364
Alpha_Bf	9	0,0135	Slope	9	0,316
Ch_K2	10	0,0128	Blai	10	0,234
Gw_Revap	11	0,0063	Canmx	11	0,187
Sol_K	12	0,00619	Esco	12	0,157
Usle_C	13	0,00559	Ssubbsn	13	0,148
Revapmn	14	0,00305	Sol_Z	14	0,12
Gwqmn	15	0,00302	Gwqmn	15	0,0667

Tabela 23- Descrição dos quinze primeiros parâmetros encontrados nas simulações do SWAT.

Descrição	Parâmetros de escoamento superficial
Fator de compensação da evaporação do solo	Esco
Capacidade de água na primeira camada do solo (m/mm)	Sol_Awc
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer o fluxo de retorno	Gwqmin
Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer a "revap" (percolação)	Revapmn
Profundidade da primeira camada de solo	Sol_Z

Coeficiente de "revap" (percolação)	Gw_Revap
Fator alfa do fluxo de base (dias)	Alpha_Bf
Máximo potencial do índice de área foliar da cobertura vegetal	Blai
Armazenamento máximo no dossel	Canmx
Valor inicial do método de curva número do SCS	Cn2
Condutividade hidráulica efetiva no canal principal	Ch_K2
Fator de compensação da absorção pelas plantas	Epc0
Valor de "n" de Manning no canal principal	Ch_N1
Declividade / talude	Slope
Condutividade hidráulica saturada na primeira camada de solo (mm/hr)	Sol_K
Atraso de águas subterrâneas (dias)	Gw_Delay
Albedo do solo úmido na primeira camada do solo	Sol_Al0
Coeficiente de atraso do escoamento superficial	Surlag
Eficiência de mistura biológica	Biomix
Comprimento da declividade média	S1subbsn
Temperatura de queda de neve (°C)	Sftmp
Taxa mínima de fusão para a neve durante o ano (mm H ₂ O/°C/day)	Smfmn
Taxa máxima de fusão para a neve durante o ano (mm H ₂ O/°C/day)	Smfmx
Temperatura base do derretimento da neve (°C)	Smtmp
Fator de temperatura do bloco de neve	Timp
Taxa de cálculo para temperatura (°C/km)	Tlaps

A calibração em termos do sedimento em suspensão foi realizada após a obtenção dos valores da simulação 5 e da 10, sendo nomeadas de simulação 7 e 11 respectivamente, e os valores dessa última simulação estão demonstrados na Figura 61.

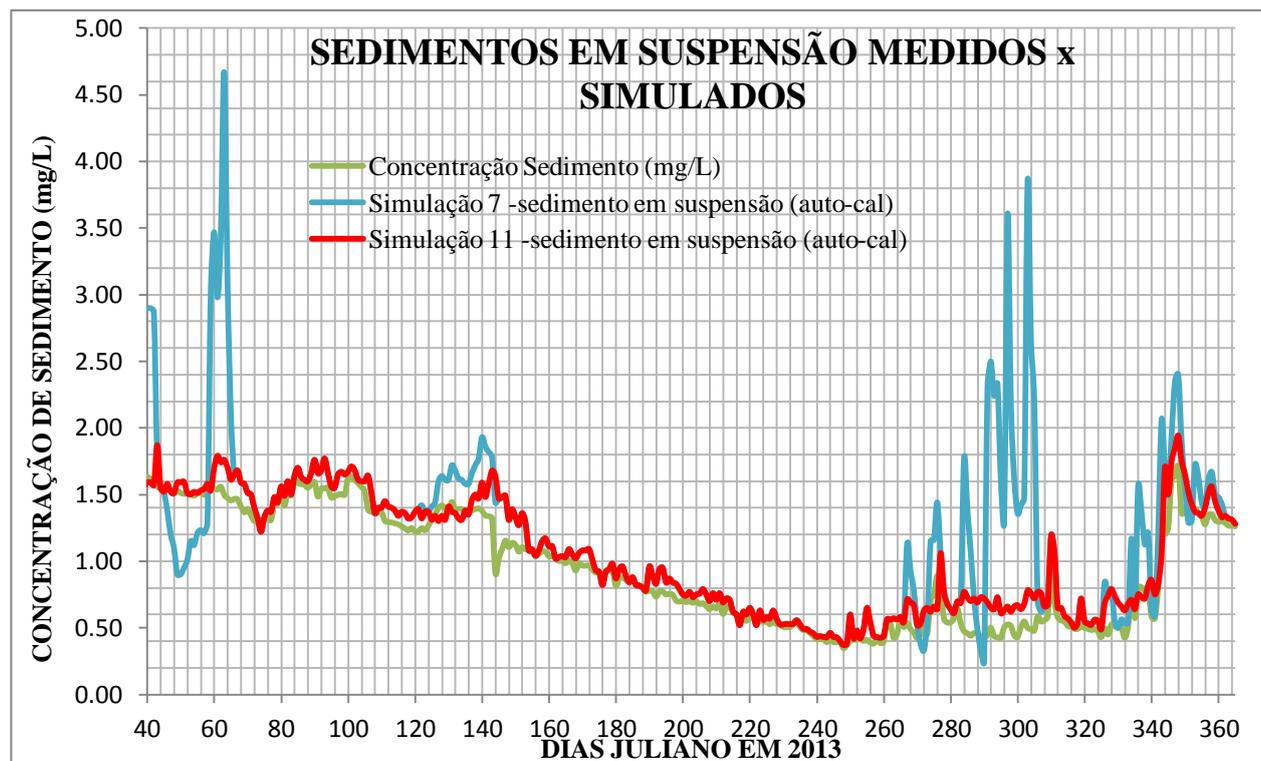


Figura 61- Simulações 7 e 11 com auto-calibração do SWAT.

Pela calibração do sedimento em suspensão resultante da simulação 11 (Figura 62), nota-se que acompanhou os picos e o período de depleção, sendo o resultado bem sensível ao longo de 2013. No dia 144 Juliano (ou 24 de maio) o valor simulado não decaiu proporcionalmente ao valor medido, tal fato ocorreu isoladamente não apresentando nenhum outro comportamento entre os valores ao longo do ano, mas isso não afetou a qualidade dos dados simulados.

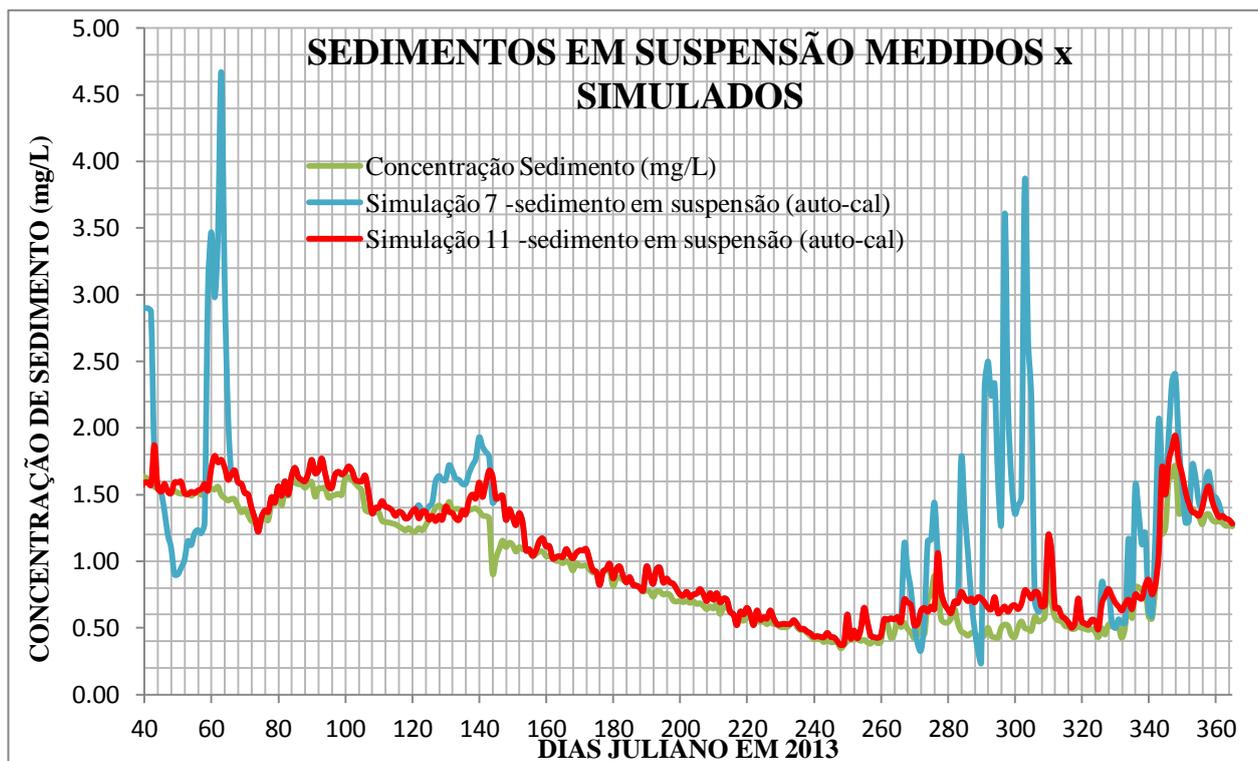


Figura 62- Simulação 11 com auto-calibração do SWAT.

Da mesma forma que a simulação do escoamento superficial, a simulação para o sedimento em suspensão foi feito o teste estatístico pelo Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe - COE resultando em 0,88 sendo considerado bom ajuste entre os valores medidos e simulados.

Na Tabela 24 estão os valores dos parâmetros sensíveis para a calibração de sedimento. E na Tabela 25 está a descrição de cada parâmetro encontrado nas simulações de sedimento.

Tabela 24- Valores médios dos parâmetros de sedimento.

		Simulação 7 (sedimento)	Simulação 11 (sedimento)
Parâmetros de sedimento	Ranking	Valores médios	
Usle_P	1	2,990	1,29
Spcon	2	0,0018	0,9560
Spexp	3	0,0538	0,364
Usle_C	4	0,00559	0,0193
Ch_Cov	7	0,000	0,000
Ch_Erod	7	0,000	0,000

Tabela 25- Descrição dos parâmetros de sedimento encontrados nas simulações do SWAT.

Descrição	Parâmetros de sedimento
Fator de MUSLE de práticas conservacionistas	Usle_P
Parâmetro linear para o cálculo da máxima quantidade de sedimento que entra durante o canal	Spcon
Parâmetro exponencial para o cálculo da máxima quantidade de sedimento que entra durante o canal	Spexp
Fator de MUSLE de cobertura do solo (m/s)	Usle_C
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod

O COE de concentração de sedimento encontrado nessa pesquisa apresentou excelente adaptação e foi compatível aos outros trabalhos que utilizaram o SWAT. MACHADO (2002) na bacia do Ribeirão Marins em Piracicaba, obteve COE de 0,83 para o período de 1999 e 2000. MORO (2005) em sua pesquisa obteve COE de 0,81 de concentração de sedimento. LENHART *et al.* (2002) na bacia do Rio Dill, localizada no Noroeste de Frankfurt na Alemanha, com área de 692 km², encontraram COE de 0,80 depois da calibração. CHOI *et al.* (2005) na porção superior do Rio Bosque, obtiveram COE de 0,6. GOLLAMUDI *et al.* (2007) na bacia do Rio Pike no sul do Canadá, resultaram no COE de 0,89.

Na Figura 62 ilustra a produção de sedimento nas sub-bacias, expressa em toneladas por área de cada sub-bacia.

A produção de sedimento está maior no exutório da bacia, e observa-se que onde há glebas com vegetação remanescente ocorre redução de sedimento, o contrário acontece nas áreas com predominância de urbanização e pastagem. Por exemplo, na sub-bacia 4, onde está concentrada a menor produção de sedimento, após a calibração o valor obtido de sedimento foi de 14,0323 toneladas em toda a área desta, e é nesta que está o maior percentual de vegetação remanescente em relação a urbanização e pastagem por área, ou seja, a porcentagem de vegetação nessa sub-bacia é maior que a soma do percentual de pastagem e urbanização os quais são os tipos de ocupação de solo que podem produzir grande parte do sedimento em uma determinada bacia.

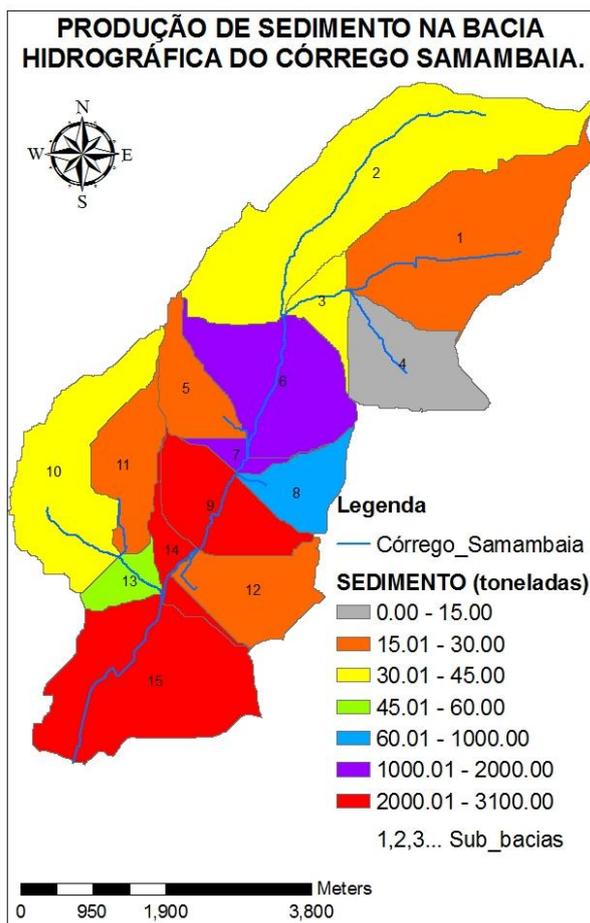


Figura 62- Produção de sedimento em cada sub-bacia do Córrego Samambaia.

As sub-bacias 9, 14 e 15 são as que apresentam maior produção de sedimento, sendo 3023,43 toneladas; 2930,96 toneladas e 2892,92 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.

9. CONCLUSÕES

Análises de calibração do modelo hidrossedimentológico SWAT para a bacia do Córrego Samambaia, em Goiânia-GO, foram realizadas neste trabalho. Para tanto, foi definido um ponto de monitoramento contínuo de descarga líquida (vazão) e de descarga sólida (concentração de sedimento em suspensão). As medições foram efetuadas no período de fevereiro a dezembro de 2013 e envolveram diferentes tipos de equipamentos (linígrafo, ADCP de fundo, ADV, e coletor automático de água ISCO).

As campanhas de campo apresentaram dificuldades de instalação do ADCP de fundo, como fonte de energia local e sensibilidade do equipamento aos materiais transportados. Embora seja extremamente útil deixá-lo instalado no leito do córrego por elevado número de meses para obter valores de vazão a cada meia hora, seus sensores foram obstruídos pelo acúmulo de partículas e afetaram a campanha em alguns dias. Assim, recomenda-se que o equipamento não seja utilizado continuamente durante um longo período, mas que ele seja instalado, realize a medição diária e seja retirado.

Um linígrafo foi programado para coletar a variação da altura da lâmina d'água a cada cinco segundos, o que foi decisivo para o conhecimento dos valores médios diários e, conseqüentemente, dos hidrogramas observados na seção de medição.

O coletor automático de água ISCO apresentou funcionamento extremamente eficaz, com coletas diárias de água a partir de fácil programação.

O modelo SWAT demanda uma grande quantidade de dados de entrada. Para tanto, foram obtidos *rasters* de solos, modelo digital de elevação e uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia. Uma série de dados climatológicos (2003 a 2013) foi extraída da estação meteorológica da Escola de Agronomia da UFG.

As análises de calibração foram realizadas no próprio *software* SWAT e no *software* SWAT-CUP, que é uma ferramenta específica para calibração automática.

Inicialmente, a simulação no SWAT apresentou valores superestimados nos picos de escoamento superficial e subestimou as vazões mínimas. Entretanto, e após a análise de sensibilidade, os picos foram minimizados e as vazões mínimas apresentaram valores mais ajustados aos valores medidos.

O SWAT-CUP forneceu maneira mais rápida para fazer as operações de calibração e padronizou as etapas de calibração. Foram utilizadas as técnicas de GLUE, PARASOL e SUFI-2, sendo que o último apresentou melhor ajuste aos valores medidos. Os parâmetros possuíram uma faixa de incerteza que tenderam a reduzir com o decorrer das iterações, e o processo chegou ao fim

quando dois critérios foram atingidos: (1) o intervalo de incerteza com 95% de probabilidade (95 PPU) das previsões contiveram a maior parte das observações, ou seja, essa quantificação é referida como o "fator-p" e (2) a "espessura" média da faixa de incerteza das previsões (95 PPU) foi considerada pequena através da quantificação do "fator-r".

O parâmetro Cn2 (CN do método de curva número do SCS) foi o que apresentou maior sensibilidade na calibração e está relacionado ao tipo de solo, uso e cobertura do solo de acordo com a taxa de infiltração, textura e estrutura. Na sequência, o fator alfa do fluxo de base pois quanto mais próximo do valor de zero menor é a contribuição do fluxo de retorno. O elevado valor obtido para o coeficiente de Manning permite que o escoamento superficial seja amortecido. Assim, e levando em consideração as três variáveis de decisão mais sensíveis para descarga líquida, os resultados do modelo evidenciaram as características físicas do solo, tanto para o CN quanto para o retorno do fluxo de base, e a cobertura deste pela restrição à velocidade do escoamento através do elevado coeficiente de rugosidade obtido nas simulações.

Para outros trabalhos a serem realizados na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia, recomenda-se que o uso e ocupação da bacia sejam mais detalhados, e que, com o avanço do monitoramento, mais de um ano hidrológico seja utilizado nas calibrações do modelo SWAT-CUP.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR,K.C. **SWAT-CUP4- SWAT Calibration and Uncertainty Programs – A User Manual**. Eawag:Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Techonology, 2011.

ABBASPOUR,K.C.; VEJDANI,M.; HAGHIGHAT,S. **Calibration and Uncertainty Programs fo SWAT**. <http://ebookbrowse.com/swat-cup-s17-abbaspour-pdf-d37453607>. Acesso em 16/04/2013.

ABBASPOUR,K.C., YANG J., MAXIMOV I., SIBER R., BOGNER K, MIELEITNER J., ZOBRIST J., and SRINIVASAN,R. **Spatially-distributed modelling of hydrology and water quality in the prealpine/alpine Thur watershed using SWAT**. Journal of Hydrology, 333: 413-430. 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Programa produtor de água**. Brasília, 2009. 20p. Disponível em:<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo/2009/ProgramaProdutorDeAguaFolheto.pdf>. Acesso em: 16/03/2013.

ANDRADE,M.A. **Simulação hidrológica numa bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande**. Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia. Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, 2011.103p.

ARNOLD,J.G.;KINIRY,J.R.;SRINIVASAN,R.;WILLIAMS,J.R.;HANEY,E.B.;NEITSCH,S.L.G; **Soil and Water Assessment Tool Input/Outpu File Documentation, v.2009**. Texas Water Resources Institute Technical Report n.365. Texas A&M University System. College Station, Texas. Setembro,2011.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMNS, J. R. **Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development** J. American Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89. 1998

ARNOLD, J. G.; ALLEN,P. M.; MUTTIAH, R. S.; BERNHARDT, G. **Automated base flow separation and recession analysis techniques**. Groundwater 33(6): 1010-1018. 1995a.

ARNOLD, J. G.; WILLIAMS,J. R.; MAIDMENT, D. R. **Continuous-time water and sediment-routing model for large basins**. J. Hydrol. Eng. ASCE 121(2): 171-183. 1995b.

ARNOLD,J. G.; ALLEN, P.M. **A comprehensive surface-ground water flow model**. J. Hydrol. 142(1-4): 47-69. 1993

ARNOLD,J.G; WILLIAMNS,J.R; NICKS,A.D; SAMMONS,N.B. **SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management**. Texas A&M Univ.Press, College Station,TX. 1990.

ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J.R. **Validation of SWRRB: Simulator for water resources in rural basins**. J. Water Resour. Plan. Manage. ASCE 113(2): 243-256. 1987

BALDISSERA,G.C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil Water Assessment Tool), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Dissertação de mestrado em

Física do Meio Ambiente. Instituto de Ciência Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Cuiabá, MT, 2005, 148p.

BATISTA, M.S. **Análise de incerteza no escoamento simulado com o modelo distribuído NAVMO**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2006. 133p.

BENNETT, J. P. **Concepts of mathematical modeling of sediment yield**. Water Resources Research, 10(3): 485-492.1974.

BERTOLINI,D.; LOMBARDI NETO,F. **Manual de manejo e conservação do solo e água**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, v.1, 1993.15pp.

BEVEN, K. **Changing ideas in hydrology - the case of physically based models**. Journal of Hydrology, 105:157-172. 1989.

BEVEN, K.; BINLEY A. **The Future of Distributed Models - Model Calibration and Uncertainty Prediction**. Hydrological Processes. 6(3), 279-298. 1992.

BEVEN, K.; FREER, J.; **Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems using the GLUE methodology**. Journal of Hydrology 249 (1-4), 11-29. 2001.

BHUYAN, S.J.; KALITA, P.K.; JANSSEN, K. A.; BARNES, P. L. **Soil Loss Predictions with Three Erosion Simulation Models**. Environmental Modelling & Software. n°17, p.137-146, 2002.

BYNE, W. **Predicting Sediment Detachment and Channel Scour in the Process-Based Planning Model ANSWERS-2000**. Dissertação de Mestrado. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 2000.

BONUMÁ,N.B.; REICHERT,J.M.; MINELLA,J.P.; BARROS,C.A.P.; RODRIGUES,M.F.; BUARQUE,D.C. Capítulo 17: **Simulação da vazão e da produção de sedimentos utilizando o modelo SWAT**. Engenharia de Sedimentos na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento / Associação Brasileira de Recursos Hídricos; organizadores: Jorge Enoch Furquim Weneck Lima e Walszon Terllizzie Araújo Lopes.- Brasília, 2011.

BORDAS,M.P.; SEMMELMANN,F.R. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI,C.E.M. “Hidrologia: ciência e aplicação”. 2.ed. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. P.915-43.

BROOKS,K.N.; FOLLIOTT,P.F.; MAGNER,J.A. **Hydrology and the Management of Watersheds**. Iowa:Iowa State Press, 2003.558p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO,N.O.; FILIZOL JÚNIOR,N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília,DF. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas.2000. 154p.

CEMIG. **Manual de Hidrometria**. Divisão de hidrologia. Belo Horizonte,MG. 1965.

CHRISTOFOLETTI,A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed.Edgard Blutcher Ltda. 1999. 1ª Ed. 240p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 186p.

CHOI,I; MUNSTER,C.L; VICTOR,D.M.; WHITE,R.H.; STEWART,G.A.; RICHARDS,C.E. **Calibration and validation of the SWAT model on a field-scale watershed for turfgrass sod establishment**. Proceedings of the 3rd Conference on Watershed Management to Meet Water Quality Standards and Emerging TMDL 2005. p.338-347.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology**. New York: MacGraw-Hill Book Co., 1964. 1v. (várias paginações).

CHU, S. T. **Infiltration during an unsteady rain**. Water Resources Research, 14(3):461-466. 1978.

COIADO,E.M. **Uso do amostrador fixo programável na determinação da concentração dos sedimentos transportados em suspensão no Rio Atibaia-SP**. In anais: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracajú-SE. 2001.

CORRÊA,R.S. **Tratamento da paisagem**. In:_____. “Recueração de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação”. Brasília,DF: Universa, 2005. 186p.

DNAEE. Departamento Nacional de Águas e Energia. Ministério de Minas e Energia. **Normas e recomendações hidrológicas, 1970**. Anexo III – Sedimentometria.1970.Brasília,DF.

DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. G. **Formulation of a hybrid calibration approach for a physically based distributed model with NEXRAD data input**. J. Hydrol. 298(1-4): 136-154. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro-RJ). Sumula 10, Reunião Técnica de Levantamento de solos (EMBRAPA-SNLCS. M1), 83p. 1979.

EL PROYECTO. Disponível em: <http://www.riegoconosur.cl/riegoconosur.php?op=81>. Acessado em 04 de janeiro de 2013.

FLANAGAN, D.C. e NEARING, M.A.(1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: **Hillslope Profile and Watershed Model Documentation**. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana.

FILIZOLA, N; GUYOT,J.L.; WITTMANN,H.; MARTINEZ,J.M.; OLIVEIRA, E. **The Significance of Suspended Sediment Transport Determination on the Amazonian Hydrological Scenario**. Sediment Transport in Aquatic Environments, Dr. Andrew Manning

(Ed.), ISBN: 978-953-307-586-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/sediment-transport-in-aquatic-environments/thesignificance-of-suspended-sediment-transport-determination-on-the-amazonian-hydrological-scenari>. 2011

FRAGOSO, M.M.A. “Estudo hidrológico e de transporte de sedimentos em uma bacia do Bioma Cerrado: Bacia do Córrego do Capão Comprido”. Dissertação de mestrado apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília-Unb. Brasília-DF. 125p. 2008.

GARBOSSA, L.H.P.; VASCONCELOS, L.R.C.; LAPA, K.R.; PINHEIRO, A. **The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010**. International SWAT Conference & Workshops, 2011.

GASSMAN, P.W.; REYES, M.R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J.G. **The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions**. American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Vol.50(4): 1211-1250. 2007.

GOLLAMUDI, A.; MADRAMOOTOO, C.A.; ENRIGHT, P. **Water quality modeling of two agricultural fields in southern Quebec using SWAT**. Transactions of the ASABE, v.50, n.6. p.1973-1980. 2007

GOODRICH, D.C., KEPNER, W.G., HERNANDEZ, M., JONES, B., EDMONDS, C. **Landscape indicator interface with hydrologic models – Research plan**. Environment Protection Agency. EPA/600/R-00/42. Washington, DC. 57p. 2000.

GREEN, W. H. e AMPT, G. A (1911). **Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils**. Journal Agr. Sci., 4(1) : 1-24. Apud Mein & Larson (1973).

GRIMSHAW, D.L.; LEWIN, J. **Source identification for suspended sediments**. Journal of Hydrol. ed.47, pg.151-162.1980.

GRISSON, F. **Uso do ADCP como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação de curva-chave na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte**. Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis-SC, 2008.

GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4ª edição Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 149-209.

HARGREAVES, G.H. SAMANI, Z.A. **Estimating potential evapotranspiration**. Tech. Note, J.Irrig. and Drain. Engr. 108(3):225-230. 1982.

HORTON, R.E. **Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: a Hydrological Approach to Quantitative Morphology**. Bull: Geol.Soc.Am.1945, n56, 275-370.

HOSKIN SCIENTIFIC. Disponível em: http://www.hoskin.ca/catalog/index.php?main_page=product_info&cPath=1_178_589&products_id=1550&zenid=h0rh8r1ivlrn9g821ufm6trl73 . Acessado em 30/04/2013.

JACCON, G.; CUDO, K.J. **Curva-chave: análise e traçado**. DNAEE, Brasília-DF, 1989, 273p.

KANNAN, N.; WHITE, S. M.; WORRAL, F.; WHELAN, M. J. **Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modeling in SWAT-2000**. J. Hydrol. 332(3-4): 456-466. 2007.

KING, K. W.; ARNOLD, J. G.; BINGNER, R. L. **Comparison of Green-Ampt and curve number methods on Goodwin Creek watershed using SWAT**. Trans. ASAE 42(4): 919-925. 1999.

KNISEL, W.G. **CREAMS, a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems**. USDA Conservation Research Rept. No. 26.1980

KOBIYAMA, M. **Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais**. 3^a edição. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2011. 242p.

LAFLEN, J.M., FLANAGAN, D. C. **A powerful tool**. Agricultural Engineering, 73(4):18 -19. 1992

LAFLEN, J.M., LANE, L.J., FOSTER, G.R. **The water erosion prediction Project –a new generation of erosion prediction technology**. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1):34-38. 1991.

LEE, M.T. **Watershed erosion and sedimentation assessment - a case study in Illinois, United States**. In: Hydrological research basins and their use in water resources planning, 695-704, 1982. Landeshydrologie, Bern.

LELIS, T.A.; CALIJURI, M.L.; SANTIAGO, A.F.; LIMA, D.C.; ROCHA, E.O. **Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol.36. n.2. Mar./Abr. 2012. Viçosa – MG.

LELIS, T.A. **Modelagem do escoamento superficial e perda de solo na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, na Zona da Mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Viçosa, MG. 2011.178p.

LENHART, T; ECKHARDT, K; FOHRER, N; FREDE, H.G. **Comparison of two different approaches of sensitivity analysis**. Physucs and Chemistry of the Earth, v.27, n.9-10, 2002. p.645-654.

LENZI, M. A. & DI LUZIO, M. A. *Surface runoff, soil erosion and water quality modelling in the Alpone watershed using AGNPS integrated with a Geographic Information System*, European Journal of Agronomy, V. 6, março 1997, p.1-14. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T67-3RJX0GT-1/2/62e0f39c84700a2b42f353e77ef070e7>)

LIMA, G.; BOLDRIN, R.S.; MENDIONDO, E.M.; MAUAD, F.F. OHNUMA, A.A.J. **Análise de incertezas de observações hidrológicas e sua influência na modelagem de pequenas bacias urbanas**. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.12, n.1, Jan/Mar 2007, 107-116.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; STRAUCH, M.; LORZ, C. **Desenvolvimento de base de dados de solos par a aplicação do modelo SWAT em bacia do Bioma Cerrado**. XX SBRH. Novembro, 2013. Bento Gonçalves-RS.

LINO, J.F.L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT**. Dissertação (mestrado) em engenharia ambiental. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, SC, 2009, 150p.

LOPES, G.R. **Estudos hidrológicos e hidrossedimentológico na bacia do Córrego do Capão Comprido, DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-131/2010, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010, 123p.

LOPES, N.H.Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Dissertação de mestrado em engenharia ambiental. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, SC, 2008, 164p.

LOPES, V. L. (1987a). **A numerical model of watershed erosion and sediment yield**. *RBGF-Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE*, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19. Santos, L. L. 18 Tucson, 148 p. PhD. Dissertation, University of Arizona.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese de doutorado em agronomia, área de concentração: irrigação e drenagem. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2002, 166p.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídiso à aplicação de práticas de conservação de água e solo no Noroeste Fluminense**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro / Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008. Rio de Janeiro-RJ. 189p.

MELCHIOR, C. **Comparativo de resultados de medição de vazão pelos métodos: convencional e acústico**. UDC- União Dinâmica de Faculdades Cataratas. Trabalho de conclusão de Curso de Engenharia Civil. Foz do Iguaçu-PR, 2006.

MERRIT, W. S., LETCHER, R. A., JAKEMAN, A. J. **A review of erosion and sediment transport models**. *Environmental Modelling & Software*, 18:761-799. 2003.

MINOTTI, R.T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP** Tese de Doutorado Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006. Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

MONTEITH, J.L. **Evaporation and the environment**. In: *The satate and movement of water in living organisms*, SXIXth Symposium. Soc.for Exp.Biol., Swansea, Cambridge University Press. P.205-234. 1965.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Longman Group, Inglaterra. 1986. 298p.

NAGLE,G.N.; FAHEY,T.J.; LASSOIE,J.P. **Management of Sedimentation in Tropical Watersheds.** Disponível em:

<http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos->

Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/management%20sediment%20tropical%20watersheds.pdf. Acessado:09/04/2013.

NEITSCH,S.L.; ARNOLD,J.G.; KINIRY,J.R.;WILLIAMS,J.R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation.** Versão 2005, Janeiro,2005.

NETO, J.G.C. **Simulação hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados com o modelo SWAT.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande-PB. Fevereiro 2011.

OLIVEIRA, C. K. **Papel do monitoramento e da previsão de vazões no gerenciamento de bacias hidrográficas.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.-RJ. 112p. 2003.

OLIVEIRA, W.N. **Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Goiânia-GO, 179p. 2013.

ONSETCOMPBRASIL. Disponível em: http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/12315-E-MAN-U20.pdf. Acessado em 23/04/2013.

PAIVA,F.M.L. **Estudo comparativo entre três modelos de base física na Modelagem Hidrossedimentológica em microbacias na região semi-árida Paraibana.** Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2008. 208p.

PAIVA,E.M.C.D. **Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas.** In:PAIVA,E.M.C.D.; PAIVA,J.B.D. (Orgs.). “Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas”. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.p p.493-506.

PAIVA, J.B.D.;PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** ABRH:Porto Alegre/RS. 2003.628p.

PEART,M.R. **Using sediment properties as natural tracers for sediment source: two case studies from hong kong.** Tracers in Hydrology (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993). IAHS Publ.no. 215,1993.

PETERSON, J.R.; HAMLETT, J.M. **Hydrologic calibration of the SWAT model in a watershed containing fragipan soils.** Am. Water Res. Assoc., 34:531-544, 1998.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Disponível em : <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/vocoroca/meio-ambiente-vocoroca-4.php>.: Acessado em: 29/01/2013.

Portal: VIVATERRA. Disponível em: http://www.vivaterra.org.br/vivaterra_erosao.htm. Acessado em:30/01/2013.

PRIESTLEY,C.H.B.; TAYLOR,R.J. **On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameter**. Mon.Weather. Rev.100:81-92

RIEBE, C. S.; KIRCHNER, J. W.; GRANGER, D. E.; FINKEL, R. C. **Minimal climatic control on erosion rates in the Sierra Nevada, California**. Geology, v. 29, no. 5, p. 447-450. 2001.

ROVEY, E. W.; WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E. **A distributed kinematic model of upland watersheds**. Fort Collins, Colorado State University, 52p. Hydrologic Papers 93. 1977

SALLES,F.A. **Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do Ribeirão Pipuripau**. Dissertação de mestrado em ciências florestais. Publicação PPG EFL. DM-172/2012, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília-UNB, Brasília,DF, 114p.

SALLES,L.A.; CHAVES,H.M.L. Capítulo 18: **Estudo da sensibilidade de variáveis sedimentológicas influentes no desempenho do modelo SWAT**. Livro: Engenharia de Sedimentos na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento / Associação Brasileira de Recursos Hídricos; organizadores: Jorge Enoch Furquim Weneck Lima e Walszon Terllizzie Araújo Lopes.- Brasília, 2011.

SALOMÃO, F. X. T. **Plano de controle dos processos erosivos em escarpa, no perímetro urbano e Peri urbano da cidade de Primavera do Leste, MT**. FAPEMAT – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

SANTOS,L.L. **Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações**. Revista Brasileira de Geografia Física, vol.2, n.03, set-dez,2009, 01-19. Recife-PE, 2009.

SARMENTO,L. **Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas**. Tese de doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. TD – 07/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2010, 241p.

SCHULTZ,G.B.; SOUZA,R.M.; SANTOS,I. Capítulo 19: **Simulação da produção e transporte de sedimentos com o modelo SWAT: Aplicação na Bacia do Altíssimo Rio Negro**. Livro: Engenharia de Sedimentos na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento / Associação Brasileira de Recursos Hídricos; organizadores: Jorge Enoch Furquim Weneck Lima e Walszon Terllizzie Araújo Lopes.- Brasília, 2011.

SIEG - SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DE GOIÁS. Disponível em: www.sieg.go.gov.br. Acessado em: 23/01/2013

SILVA, A.M da.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B de. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2007, 2ed.158p.

SILVA,J.M.A. **Modelo Hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**.

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 155p.2002.

SMITH, R. E., CORRADINI, C. e MELONE, F. **Modeling Infiltration for Multistorm Runoff Events**. Water Resources Research, 29(1): 133-144. 1993

SOUTO, A.R.; CRESTANA, S. **Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4(3), 429-435. 2000.

SOUTO, A.R. **Análise espacial e temporal da produção de sedimento em uma Microbacia Rural com o Modelo AGNPS e técnicas de SIG**. Dissertação de mestrado apresentado a Ciência da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo-usp. São Carlos-SP. 111p. 1998.

SOUZA, R.M.; FORMIGA, K.T.M.; VEIGA, A.M. **Delimitação e caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia-GO a partir de dados do SRTM**. In anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu-PR, abril 2013.

SRINIVASAN, R. & ARNOLD, J.G. **Integration of a basin-scale water quality model with GIS**. Water Res. B., 30:453-462, 1994.

SZILAGYI, J., PARLANGE, M.B. **A geomorphology-based semi-distributed watershed model**. Advances in Water Resources, v.23, p.177-187, 1999.

TELEDYNE ISCO. Disponível em: <http://www.isco.com/products/products3.asp?PL=201101010>. Acessado em: 25/02/2013

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. – 2ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E.M. **Regionalização de vazões**. Ed. Universidade/ UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 1ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 669p.

USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Lafayette. 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10). 1995.

USGS – United States Geological Survey. Disponível: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>. Acessado em 04 de janeiro de 2013.

VALENTIN, E.F.D. **Modelagem Dinâmica de Perdas de Solo: o Caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO**. Tese de doutorado apresentado à Universidade de Brasília no Instituto de Geociências. Brasília, DF. 113p, Março 2008.

VAN GRIENSVEN, A; MEIXNERT, T. **Methods to quantify and identify the sources of uncertainty for river basin water quality models**. Water Science and Technology, 53(1): 51-59.2006.

VISSMAN,W.; LEWIS, G.L. **Introduction to hydrology**. 5 th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

WATER ONLINE. Disponível em: <http://www.wateronline.com/doc/Argonaut-SW-0002>. Acessado em:30/04/2013.

WILLIAMS, J.R. 1975. **Sediment routing for agricultural watersheds**. Water Resources Bulletin, Herndon, v. 11, n. 5, p. 965-974.

WILLIAMS,J.R; NICKS,A.D; ARNOLD,J.G. **Simulator for water resources in rural basins**. Journal of Hydraulic Engineering, 1985. 111(6):970-986.

WILLIAMS,J.R. **The EPIC model**. In:SINGH,V.P. Computer models of watershed hydrology. Littleton: Water Resources, 1995. P.909-1000. Chapter 25.

WILKINSON, B. H.; McELROY, B. J. **The impact of humans on continental erosion and sedimentation**. Geological Society of America Bulletin, v. 119, no. 1-2, p. 140-156. 2007.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; LUZIO, M.; ARNOLD, J. (2007). **ArcSWAT Interface for SWAT 2005 – User’s guide**. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 436p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture. 58 p. (Agricultural Handbook, n. 537). 1978.

WOODS-BALLARD,B. *The SUDS manual (C697)*. London:CIRIA, 2007, ISBN:9780860176978.

WOOLHISER, D. A., SMITH, R. E.; GOODRICH, D. C. **KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual**. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 pp.1990.

YANG,J.; REICHER,P.; ABBASPOUR,K.C.;VIA,J.; YANG,H. **Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China**”. Received 7 December 2007; accepted 10 May 2008. Journal of Hydrology (2008). doi:10.1016/j.jhydrol.2008.05.012.

YOUNG, R.A., ONSTAD, C.A., BOSCH, D.D., ANDERSON, W.P. **Agricultural Non-Point Source Pollution Model. AGNPS user’s guide**. Morris, Minnesota. USDA-ARS. 1994.

YOUNG,R.A.. ONSTAD,C.A.; BOSCH,D.D.; ANDERSON,W.P. “AGNPS: A nonpointsource pollution model for evaluating agricultural watersheds”. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(2), 168-173. 1989.

YOUNG, R.A., ONSTAD, C.A., BOSCH, D.D., ANDERSON, W.P. **AGNPS – Agricultural Non-Point Source Pollution Model – a watershed analysis tool**. United States Department of Agriculture, Conservation Research Report 35: 1-80. Washington, D.C.: USDA. 1987.

XAVIER, F.V. **Contribuições metodológicas ao estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Manso utilizando o modelo AVSWAT.** Dissertação de mestrado em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Cuiabá-MT, 2009, 166p.

ZACHAR, D. **Soil Erosion: Development in Soil Science.** New York. Elsevier Scientific, 1982. 547p.

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D. R. **Digital elevation model grid size, landscaperepresentation, and hydrologic simulations.** Water Resources Research, v. 30,n. 4, p.1019-1028. 1994.