



SIMULAÇÃO DE VAZÃO E SEDIMENTO EM BACIA HIDROGRÁFICA RURAL COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE SUÍNOS E DIFERENTES USOS DO SOLO

Gerson Conceição¹; Masato Kobiyama²; Paulo Belli Filho³; Claudio Rocha de Miranda⁴ & Magda Mullinari⁵

RESUMO --- O estudo simulou numericamente vazão e sedimento em bacia hidrográfica rural com alta concentração de suínos. Simularam-se eventos chuvosos e secos para 2010 e 2011 utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT), comparando-se aos dados medidos para calibração e validação. As medições e simulações em diferentes escalas quantificaram a influência do manejo de dejetos suíno e cobertura mista do solo no escoamento e transporte de sedimento suspenso. A carga de sedimento em 2010 e 2011 foi de 0,94 e 1,10 ton.ha⁻¹ e vazões máximas de 26,87 e 16,7 m³.s⁻¹. O uso do solo misto mostrou resposta sincronizada entre escoamento e chuvas intensas nas quatro estações do ano. Os valores de Nash para calibrar vazão e sedimento foram, respectivamente de 0,74 e 0,56. As funções objetivo erro relativo e relação entre volumes medidos na calibração resultaram em 0,69 e 0,06, indicando um balanço de massa equilibrado do escoamento superficial, vazão de base e produção de sedimento. Constatou-se que o manejo de dejetos suíno no solo pouco altera a produção de sedimentos.

ABSTRACT --- This study numerically simulated flow and sediment in rural catchment with a high concentration of pigs. It was simulated rainfall events and dry for 2010 and 2011 using the model *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT), comparing with measured data for calibration and validation. The measurements and simulations at different scales quantify the influence of swine waste management and mixed coverage of soil in runoff and sediment transport suspended. The sediment load in 2010 and 2011 was 0,94 and 1,10 ton.ha⁻¹ and maximum flows of 26,87 and 16,7 m³.s⁻¹. The land use mixed showed response synchronized between flow and heavy rainfall in the four seasons. Nash values to calibrate flow and sediment were 0,74 and 0,56. The objective functions relative error and the relationship between volumes measured in the calibration resulted in 0,69 and 0,06, indicating a mass balance runoff, base flow and sediment yield. It was found that the swine waste management in the soil has little effect on sediment production.

¹Doutorando da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. gconceicao@gmail.com

²Professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. kobiyama@ens.ufsc.br

³Professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. belli@ens.ufsc.br

⁴Pesquisador da Embrapa Suínos e Aves; BR 153, km 110, Concórdia/SC. miranda@cnpsa.gov.br

⁵Pesquisadora da Embrapa Suínos e Aves; BR 153, km 110, Concórdia/SC. magda@cnpsa.gov.br

Palavras-chave: SWAT, bacia rural, dejetos suíno, sedimentos.

1. INTRODUÇÃO

Em bacias hidrográficas com alta concentração de suínos, necessita-se da incorporação do dejetos suíno ao solo como alternativa da ciclagem dos nutrientes gerados pela atividade, como ocorre no Oeste de Santa Catarina (Fatma, 2012). Os dados oficiais disponíveis vêm demonstrando que as áreas aptas para aplicação de dejetos nas propriedades suinícolas no Sul do Brasil não comportam a totalidade dos dejetos nelas produzidos, indicando que as quantidades estão acima da taxa de absorção das plantas e do solo, trazendo riscos aos mananciais, por escoamento superficial, lixiviação e percolação (Seganfredo, 2007). Práticas de gestão alternativas, que visam à conservação do solo como, plantio direto, cultivo em nível, terraceamento e faixas de proteção, têm sido adotadas em bacias rurais para reduzir as fontes de poluição difusa, entretanto, não tem sido eficientes para reduzir o impacto da agricultura às águas superficiais (Ullrich & Volk, 2009).

Gburek & Sharpley (1998) apontaram que nos Estados Unidos da América (EUA), mais de 50% dos nutrientes de um corpo d'água são provenientes da atividade agrícola. Recentemente, a União Européia verificou que existe uma grande lacuna na compreensão das perdas de sedimentos em suspensão devido à atividade da agricultura em toda a Inglaterra e País de Gales (Collins *et al*, 2009). Isto exigiu que estes países avaliassem as contribuições difusas de perdas de solo pelo setor agrícola e urbano. Os trabalhos, nesses dois países, concluíram que o setor agrícola é responsável por 76% dos sedimentos que são lançados para os rios. O setor urbano respondeu por 6% e os 18 % restantes são atribuídos às fontes pontuais e às descargas nos bancos de canais de erosão.

Neste sentido, os modelos hidrológicos têm sido ferramentas poderosas para simular o efeito de processos hidrodinâmicos, fazer gestão do solo e dos recursos hídricos nestes ambientes. O modelo SWAT tem provado ser uma ferramenta eficaz para a avaliação dos recursos hídricos e problemas de poluição difusa para uma ampla gama de escalas espaciais e condições ambientais em todo o mundo (Arnold *et al.*, 1998; Arnold & Fohrer, 2005). Nos EUA, o SWAT, cada vez mais, tem sido usado para apoiar análise da carga máxima total diária de nutrientes (Borah *et al.*, 2006), investigação da eficácia de práticas de conservação dentro do Programa de Avaliação do USDA e Efeitos da Conservação (Mausbach e Dedrick, 2004), e executar avaliações e aplicações que impactam a quantidade, qualidade e uso da água (Arnold *et al*, 1999;. Jha *et al*, 2006).

Estudos com sedimentos indicam que este poluente tem sido o mais significativo entre os demais que impactam o uso da água, devido ao seu efeito no transporte de outros nutrientes (Brooks *et al*, 1991). A análise da interação da quantidade de sedimentos produzidos em eventos chuvosos e a resposta da bacia através do escoamento superficial podem ajudar no entendimento dos processos

que atuam no transporte e deposição de sedimentos. O efeito cinético da chuva sobre o solo é um dos fatores preponderante na produção de sedimento (Morgan, 2001), exigindo manejo no uso do solo com coberturas apropriadas de acordo com a variação temporal e a sazonalidade das precipitações, na tentativa de minimizar os efeitos erosivos e de concentração de sedimentos suspensos nos canais de drenagem (Renard *et al.*, 1991).

Devido à complexidade dos processos hidrológicos que ocorrem em bacias, exige-se a discretização espacial e temporal dos fenômenos, o que resulta em simplificações. Tripathi *et al.* (2006) ressaltam: a capacidade de um modelo de simular uma bacia depende de quão bem os processos de divisão de águas são representados pelo modelo e quão bem a bacia é descrita pelos parâmetros de entrada do modelo, através dos dados observados. Por isto, destaca-se a importância da análise simultânea dos processos elementares, dentro de escalas apropriadas aos problemas que estão sendo analisados, com observações, medições e coletas de dados para um melhor entendimento dos impactos do uso e cobertura do solo sobre os recursos hídricos.

Portanto, buscou-se nesse estudo avaliar, com dados medidos em diferentes escalas na bacia rural e simulados pelo modelo SWAT, o efeito do uso misto do solo e o manejo com aplicação de dejetos de suíno, no transporte do sedimento em suspensão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia do Lajeado dos Fragosos (BLF) está inserida na bacia hidrográfica do Jacutinga, localizada no município de Concórdia no oeste do Estado de Santa Catarina – Brasil, entre as coordenadas geográficas 27° 15' 41,86" e 27° 12' 31,95" S e 52° 12' 23,48" e 52° 1' 47,79" W. A área de drenagem é de aproximadamente 59 km² (Figura 1). Na foz da bacia há a conexão direta com o reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá (UHIT). De acordo com Köeppen & Geiger (1928), o clima é Cfa (clima subtropical úmido). A temperatura média do mês mais frio está entre 11,5 e 13,5°C e a média da máxima é de 24,7°C. A precipitação anual da região varia de 1700 a 1900 mm, com total de dias de chuva variando entre 89 e 146 dias. A umidade relativa do ar média é de 86,2% (EPAGRI/CIRAM, 1999; Braga & Ghellre, 1998; Dufloth *et al.*, 2005).

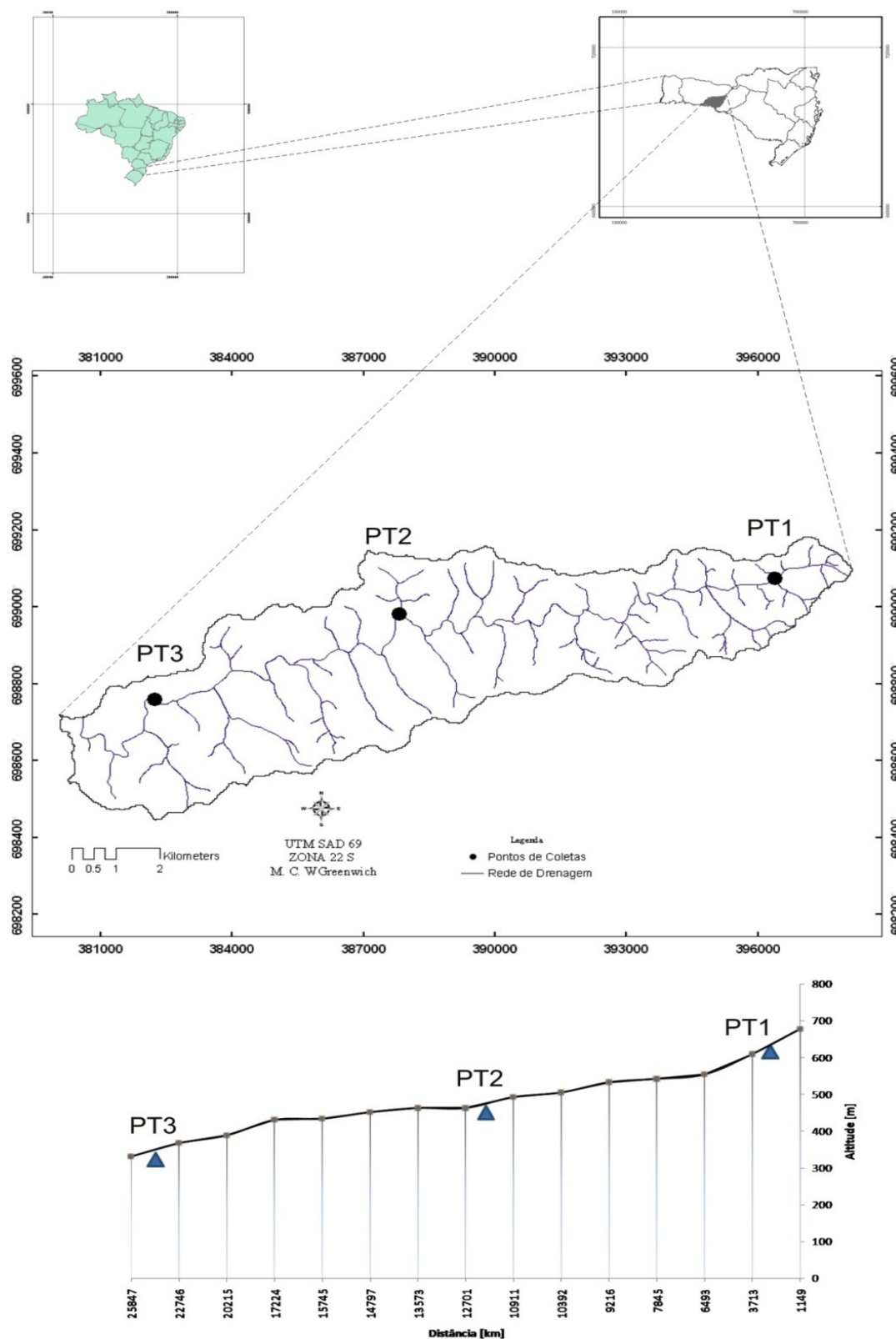


Figura 1 – Localização das três seções (PT1, PT2, PT3) de monitoramento na BLF, no município de Concórdia –SC e a topobatimetria do rio principal com suas respectivas cotas de altitudes.

A bacia foi monitorada em três seções fluviométricas: montante (SM), intermediária (SI) e jusante SJ) (Figura 1), através de sensores de precipitação, de nível da água, régua limimétrica e amostradores de nível ascendentes construídos e implantados conforme descrito por Umezawa

(1979). As seções fluviométricas atuaram como bacias virtuais acopladas controlando três diferentes áreas de drenagem, com escalas espaciais diferentes, localizadas ao longo do eixo do canal principal. A primeira seção (SM) está localizada em um ponto mais extremo do rio principal, abrangendo a área de menor escala com 1,67 km², porém é a mais elevada, alcançando 632 m. A segunda (SI), está localizada em um ponto intermediário com altura e área de abrangência de 459 m e 30,35 km² e a terceira (SJ), está próximo à foz da bacia envolvendo uma área de 53,03 km² e sua altitude é de 354 m.

2.2 Amostrador de nível ascendente (ANA)

O ANA foi confeccionado como descrito por Umezawa (1979). Trata-se de um dispositivo de baixo custo, que permite a coleta de água em corpos d'água durante a elevação da onda de cheia, em níveis pré-determinados. Os amostradores foram instalados a jusante e na seção intermediária para coletas de amostras de água na BLF. A seção à jusante está distanciada do ponto intermediário aproximadamente em 7,0 km (Figura 1). As amostragens aconteceram no momento que a onda de cheia alcança o tubo coletor dos frascos. Estes tubos de admissão estão em intervalos de altura de 20 cm, possibilitando coletas de água com variações mínimas de 20 cm na elevação da onda de cheia. Esse amostrador tem como principal finalidade coletar amostras no momento que ocorre a precipitação e que gera a onda de cheia no canal de drenagem, onde na maioria das vezes não se pode estar presente para realização de coletas. Com isso, o amostrador permite, a partir dessas amostras, analisar os volumes de nutrientes carregados nos rios durante os eventos de chuva, pois são períodos de difícil acesso às seções fluviométricas.

2.3. Campanhas das coletas de dados de sedimento em suspensão

As campanhas de coleta de dados ocorreram em dois momentos distintos: (i) Coleta mensal independente de ocorrer o evento de precipitação e; (ii) Coleta em eventos de precipitação.

As campanhas mensais ocorreram nos dois pontos extremos da bacia (montante e jusante). Já as coletas por evento ocorreram nos três pontos da bacia: SM, SI e SJ. Nos eventos de chuvas que a cota da bacia ultrapassava 81 cm na e SJ, o coletor ANA acumulava água no frasco localizado no nível inferior. A partir daí foi estabelecido comunicação entre o observador das régua linimétricas com o laboratório da Embrapa Suínos e Aves (Concórdia – SC) e então a equipe se deslocou à campo para recolhimento dos frascos amostradores e substituí-los por outros esterilizados, para coletas de novos eventos. Simultaneamente realizaram-se as coletas e medições da qualidade da água no leito do rio nas três seções de monitoramento.

2.4. Modelo SWAT

O SWAT é um modelo hidrológico semi distribuído, integrado ao ArcGis por meio de uma interface chamada ArcSwat, que delimita a bacia hidrográfica e rede de drenagem com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) e calcula o balanço de água diariamente considerando o tipo de solo, declividade, uso e cobertura do solo e dados meteorológicos.

Com o objetivo de estabelecer o MDE da microbacia em estudo, foram utilizadas curvas de nível digitais (30 em 30 m) e pontos cotados, produto da restituição de fotografias aéreas em escala 1:50.000, na projeção UTM (Fuso 22S), datum Imbituba-SC e SAD-69. O MDE foi gerado pelo método de interpolação de rede triangular irregular (TIN – Triangular Irregular Network). O mapa de cobertura do solo foi obtido a partir do levantamento realizado pela FATMA (2008). Para as informações referentes às classes de solo foi utilizado o mapeamento do solo realizado pela EMBRAPA (2006) no estado de Santa Catarina.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir da análise de duas estações meteorológicas: (i) Epagri/ciram e (ii) Tractebel/Embrapa. A primeira localizada em 27° 07'S - 52° 37'W e altitude de 679 m, aproximadamente a 60 km à Oeste da área de estudo, na mesma zona climática com série histórica de dados de 35 anos. A segunda localizada na latitude 27°18'48,95" S, longitude 51°59'34,39" W e altitude de 585 m, aproximadamente a 15 km a sul da área de estudo, com medição contínua e horária desde o ano 2000. Os elementos meteorológicos medidos pelas estações consistiram em dados diários e horários de: (i) precipitação pluvial média; (ii) temperatura mínima e máxima do ar; (iii) umidade relativa do ar; (iv) velocidade do vento e (v) radiação solar. Especificamente para o monitoramento dos dados de precipitação contou-se com duas estações auxiliares, localizadas no centro e na foz da bacia de estudo.

Os dados de vazão foram obtidos, indiretamente, com base nas cotas diárias, medidas em intervalo inferior a 10 minutos, na SJ. A partir das cotas e medições a campo das correntes, foi determinada a curva-chave e ajustado o limite mínimo e máximo, sendo então realizada a extrapolação para os valores inferiores e superiores. O relevo da bacia em estudo foi caracterizado com base no MDE descrito anteriormente.

Os resultados de vazão, simulados pelo modelo hidrológico, foram comparados com os medidos e analisados, visualmente, nos gráficos e pelas funções objetivos, como, o coeficiente de Nash e Sutcliffe (COE), erro relativo (F_1) e relação entre volumes medidos (F_2).

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{(O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (1)$$

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|O_i - S_i|}{O_i}}{n} \quad (2)$$

$$F2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (3)$$

onde O_i é o dado medido, \bar{O}_i é a média dos dados medidos, S_i é o dado simulado e n é o número total de dados medidos utilizados.

O COE pode variar de um valor infinito negativo até 1,0 (um), sendo que o ajuste perfeito é equivalente ao valor 1,0. Os valores de Nash e R^2 maiores que 0,4 e 0,5, respectivamente, indicam o desempenho satisfatório do modelo (Green & Van Griensven, 2008). As funções F_1 e F_2 quando convergem para zero indicam uma melhor representação dos valores simulados pelo modelo. Segundo Collischonn (2001), a função F_1 avalia o ajuste das vazões em cada ponto num determinado intervalo de tempo e a função F_2 avalia a diferença percentual das vazões. A função F_2 , também é utilizada para avaliar a tendência média dos dados simulados estarem acima (super-estimados) ou abaixo (sub-estimados) dos dados medidos. O ótimo valor do viés é zero, indicando um modelo perfeito de simulação. Este teste do modelo é recomendado por Gupta *et al.* (1999), para mostrar com clareza se a performance do modelo foi baixa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cobertura de solo

Foram identificadas três classes diferentes de solo (Cambissolo, Nitossolo e Neossolo) e seis tipos de uso e cobertura do solo, com predominância para florestas. As coberturas do solo compreendem a 42,49% de floresta mista, 37,25% de pastagem, 12,23% de agricultura, 6,41% de reflorestamento (pinus e eucalipto), 0,05% de capoeiras, 0,84% de corpo de água e 0,73% de área industrial e residencial, compondo a área total da bacia hidrográfica com base no levantamento de uso do solo realizado pela FATMA (2008). Esta distribuição espacial da cobertura demonstra que a BLF é caracterizada como uma bacia rural já que menos de 1% é ocupada por área residencial e industrial.

3.2 Análises de sensibilidade, simulação inicial e calibração

O ARCSWAT2005 possui análise automática de incerteza e calibração multiobjetivo através de um processamento simples chamado Parasol (*Parameter Solutions method*) desenvolvido por Van Griensven & Bauwens (2003), porém é um processamento bastante moroso refletindo em um tempo bastante elevado de processamento na análise de sensibilidade e auto-calibração. Desta forma, foi utilizado o software Swat-cup versão 4.3.7.1 desenvolvido por Abbaspour & Srinivasan (2009), para se obter a análise de sensibilidade (Figura 3). Este programa possui rápido

processamento e possibilita a escolha de 5 métodos (Glue, ParaSol, SUFI2, MCMC e PSO) descritos de forma detalhadas em Abbaspour & Srinivasan (2011). No presente estudo foi utilizado o método SUFI2, para análise estatística das funções objetivo de vazão e sedimento. Abbaspour et. al.(2007) consideram vantajoso utilizar o SUFI2 por se tratar de um método similar ao Bayesiano inverso, na qual combina na otimização da função objetivo e análise de incerteza. Além disso, permite lidar com um grande número de parâmetros na calibração de um modelo numérico. Os resultados da análise de sensibilidade (Figura 3) demonstraram que o modelo SWAT foi mais sensível ao parâmetro que relaciona a atmosfera e o solo (ESCO) do que aquele que relaciona o aquífero e solo (ALPHA_BF) indicando forte influência dos fatores atmosféricos no escoamento de base para a BLF.

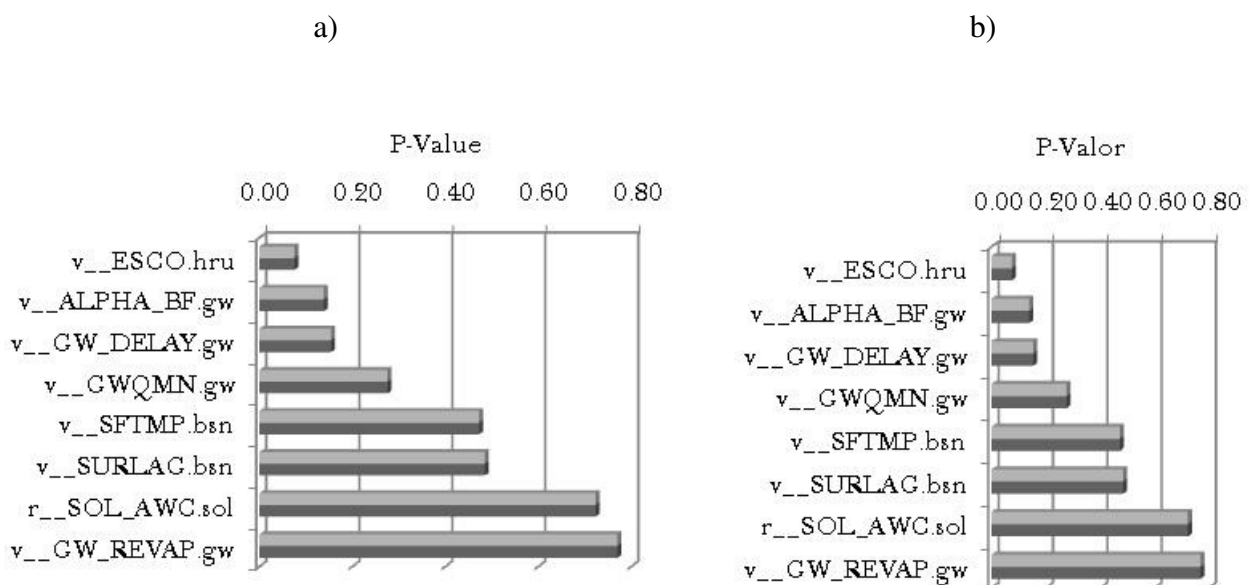


Figura 2 – Análise estatística de sensibilidade relativa do modelo com os oito parâmetros mais sensíveis ao volume do escoamento de pico e de base, na BLF com as respectivas análises de densidade de probabilidade P-Valor (B) e o teste t de Student (A).

Após análise de sensibilidade iniciou-se a calibração manual, a partir do parâmetro ESCO, com maior grau de significância (Figura 2a). Dentre os parâmetros os que produziram melhores resultados de NASH para a vazão foram os três primeiros e o quinto das (Figuras 2a e 2b). Os demais não produziram alterações na simulação da vazão e uma melhoria na correlação com o Nash. Uma vez obtido uma boa aderência da vazão simulada aos dados medidos, iniciou-se a calibração do sedimento.

Os resultados da calibração dos parâmetros de vazão e sedimento (Tabela 1) são apresentados a seguir com suas respectivas variáveis físicas de influência associadas, como: (i) Vazão: coeficiente de retardo do escoamento superficial (SURLAG) que corresponde à relação entre a

vazão e o tempo de concentração; fator de compensação de evaporação do solo (ESCO); tempo que a água se move da camada do solo mais profunda até o aquífero superficial (GWDELAY); fator de resposta às variações na recarga do aquífero (ALFA_BF); (ii) Sedimento: fator de erodibilidade do canal (CH_EROD); fator de cobertura vegetal do canal (CH_COV), coeficiente linear da equação que define a capacidade de transporte de sedimento no canal (SPCON); coeficiente exponencial da equação de concentração que define o montante máximo de sedimento no canal (SPEXP).

Tabela 1 – Parâmetros e faixa de valores adotados na calibração da vazão e sedimento.

Parâmetros Calibrados	Amplitude Prescrita	Valor Escolhido
Calibração Vazão		
ESCO.hru	0,8 – 1,0	0,5
ALPHA_BF.gw	0,0 – 1,0	1,0
GW_DELAY.gw	10 – 450	31
SURLAG.bsn	0,0 – 12,0	1,0
Calibração Sedimento		
Ch_Cov.rte	0,0 a 1,0	0,9
Ch_Erod.rte	0,0 a 1,0	0,9
SPEXP.bsn	1,0 a 1,5	1,5
SPCON.bsn	0,0001 a 0,01	0,0002

A calibração da vazão manual do modelo apresentou um desempenho bom para a microbacia em estudo, com um COE de 0,74 e coeficiente de determinação (R^2) de 0,78, para o passo diário. Os valores de Nash e R^2 maiores que 0,4 e 0,5, respectivamente, indicam desempenho satisfatório do modelo (Green & Van Griensven, 2008). E, para um bom ajuste do modelo (Krysanova *et al.*, 1998), são aceitos valores de COE superiores a 0,7.

Para as funções F_1 e F_2 foram obtidos os valores respectivos de 0,69 e 0,08. Estes valores indicam que ocorreu uma boa aderência do modelo aos dados observados. Segundo Collischonn (2001), os bons resultados de modelagem apresentam uma boa correlação temporal da vazão e reduzida diferença percentual entre dados medidos e simulados (Figura 3), pois valores perfeitos seriam com zero de erro e viés, respectivamente. Ademais Gupta *et al.* (1999) recomenda este teste do balanço de massa (usando F_2), a fim de avaliar se o modelo obteve uma boa performance e equilíbrio na representação dos fenômenos hidrológicos da bacia.

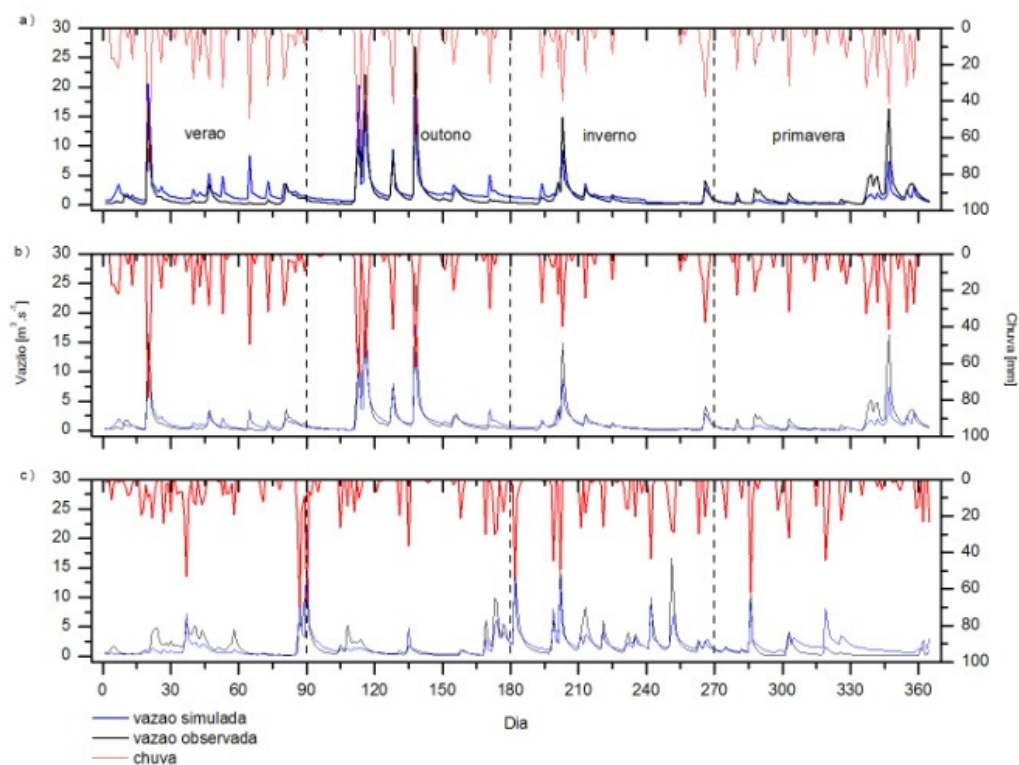


Figura 3 – Resultado da calibração (2010) e validação (2011) do modelo SWAT, com passo de tempo diário na BLF. a) comparação da vazão observada e simulada sem calibração com Nash de 0,62 para 2010. b) resultado após calibração com NASH de 0,74. c) validação da vazão com NASH de 0,63.

Após a calibração, foram simulados os anos de 2000 a fevereiro de 2012, cujos primeiros anos foram utilizados para aquecimento do modelo. Os resultados de 2010, 2011 e início de 2012 foram utilizados para avaliar o impacto da cobertura e ocupação do solo sobre a geração de sedimento.

3.3 Chuva e escoamento superficial

As vazões médias simuladas para a BLF nos anos de 2010 e 2011 são representadas na Tabela 2. Verifica-se que o uso e cobertura do solo misto (Figura 2) produziram amplitudes moderadas de vazão, tanto para períodos de precipitações pluviais elevadas quanto em períodos de baixa precipitação. Durante os períodos de recessão a vazão mínima foi mantida, indicando que o solo conseguiu reter a água da chuva, mantendo o rio de forma perene.

Tabela 2 – Totais de chuva e Vazões médias observadas (OBS) e simuladas (SIM) para a BLF biênio 2010 e 2011, considerando o uso do solo misto atual.

Mês	2010			2011		
	Vazão [m ³ . s ⁻¹]		Chuva [mm]	Vazão [m ³ . s ⁻¹]		Chuva [mm]
	OBS	SIM	OBS	OBS	SIM	OBS
Jan	1,51	1,77	264,11	1,40	0,63	206
Fev	0,64	0,97	150,58	2,54	1,46	256
Mar	0,72	0,98	178,25	1,39	1,59	282
Abr	2,77	2,32	217,83	1,76	1,68	121
Mai	2,91	2,73	162,46	0,45	0,84	94
Jun	0,80	1,36	70,28	2,08	1,56	205
Jul	1,74	1,56	141,34	3,39	3,20	267
Ago	0,77	0,86	30,43	2,76	2,39	223
Set	0,53	0,61	118,50	2,47	2,22	165
Out	0,80	0,44	148,40	1,23	1,65	263
Nov	0,35	0,21	98,20	0,57	1,26	125
Dez	3,18	1,60	404,80	0,20	0,53	56
Média	1,40	1,29	1985,18	1,68	1,58	2263
Coef. Variação	0,70	0,56	0,05	0,57	0,46	0,03

A influência da cobertura vegetal na vazão, segundo MISHRA *et al.* (2006), está associada à dissipação de energia que a precipitação é submetida ao alcançar a superfície do solo, pois dependendo do tipo de cobertura há maior ou menor variação da porosidade do solo pelo sistema radicular das plantas, provocando assim, nos casos em que há maior porosidade, redução na umidade do solo por meio do processo de evapotranspiração, afetando também a produção de sedimento.

Quando avaliadas as respostas da vazão em relação à chuva e ao escoamento superficial na bacia (Figura 3), verifica-se que há sincronismo entre estes dois parâmetros, principalmente para volumes de precipitação mais elevados, ou seja, acima de 30 mm. Este sincronismo da vazão com chuvas, indica que há pouca retenção da chuva pelo solo quando o escoamento superficial é elevado. Pode também estar associado a baixa distribuição da profundidade do solo e pouca demanda de evapotranspiração. Em períodos de baixas precipitações ou na ausência da mesma, as vazões apresentaram-se menos sincronizadas (Figura 3), porém resultaram em amplitudes muito próximas, podendo ser considerado como uma boa performance para valores de menor intensidade de precipitação. Da mesma forma, no fim das estações mais chuvosas (verão e primavera) quando os eventos de chuva ficaram menores e alternados por longos períodos, a geração dos dias de vazão foi notavelmente menor. Em 2010 e 2011 a média diária de chuva (Tabela 2) foi 4,8 e 4,9 mm com um coeficiente de variação de 0,05 e 0,03 mm e a geração de média diária de vazão foi 1,40 e 1,68 m³.s⁻¹ com um coeficiente de variação de 0,70 e 0,57 respectivamente, demonstrando uma baixa

dispersão dos dados. Como o rio se manteve perene, mesmo nos períodos de recessão, estes resultados indicam que a cobertura mista do solo permite uma boa permanência da água no solo. A Figura 4 mostra que os anos de 2010 e 2011 apresentaram anomalia anual positiva da precipitação em relação à série histórica de precipitação. Indicando que nos dois anos de análise os períodos de estiagens foram curtos e o solo manteve-se com bom teor de umidade e com boa distribuição da precipitação anual.

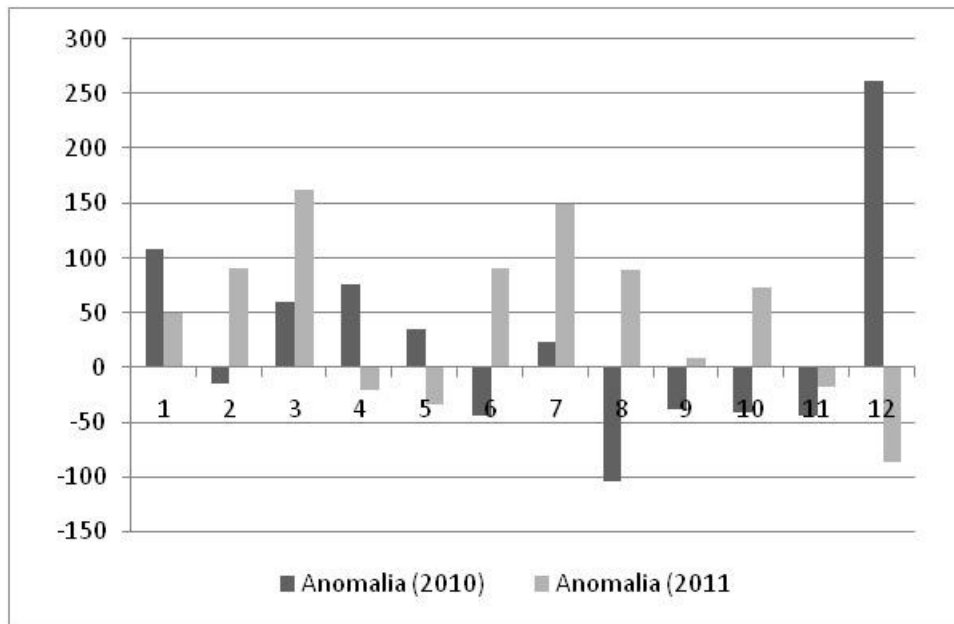


Figura 4 – Anomalia mensal da precipitação para o biênio 2010 e 2011.

3.4. Relação entre vazão-sedimento

3.4.1. Concentração de sedimento em suspensão

A estatística das concentrações médias de sedimento em suspensão das três seções de medição monitoradas entre dezembro de 2010 à fevereiro de 2012 encontram-se na Tabela 3, para os períodos de recessão e períodos chuvosos. As concentrações médias diárias obtidas pelo ANA durante os eventos chuvosos nas ondas de cheias foram determinadas pela razão entre o somatório do produto da concentração e vazão e o somatório das vazões instantâneas. As concentrações a montante variaram de 0,0 a 154,0 mg.L⁻¹ enquanto que no ponto intermediário oscilou entre 4,32 e 2131,88 mg.L⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3 – Concentrações e vazões características na BLF no período de estudo.

	Concentrações [mg L ⁻¹]			Vazões [m ³ s ⁻¹]
	Montante	Intermediário	Jusante	
Média	28,44	471,58	248,21	5,05
Mediana	4,41	286,75	34,00	2,89
Maximo	159,00	2131,88	1907,40	30,79
Mínimo	0,00	4,32	0,60	0,10
Coef. Variação	1,88	1,27	1,70	1,36

Estas duas seções são representativas das menores e maiores dimensões da concentração média da bacia. A área a montante por possuir baixo impacto da suinocultura e boa cobertura do solo (Tabela 4), indica que o manejo de dejetos tem pouca influência sobre a concentração de sedimento.

Na seção intermediária em que abrange um maior número de propriedades com suíno (Tabela 4), verifica-se um aumento significativo da concentração de sedimentos (Tabela 3), principalmente em períodos chuvosos. Entretanto, esperava-se um aumento dessa concentração para a SJ, por abranger maior área e aumento do número de animais (Tabela 4), porém o que se observa é uma redução do sedimento durante os eventos indicando que ocorre deposição, a partir da SI para a SJ. Numa primeira análise dos dados verifica-se através da Tabela 3, que os valores de concentração de sedimentos são maiores na região intermediária da bacia, indicando que há o efeito de deposição após a SI. Analisando a topobatimetria do canal principal (Figura 1) verifica-se que ocorrem dois degraus com pouca inclinação e através da rede de drenagem verificam-se meandros com alta sinuosidade do rio principal logo após a SI. Estes fatores físicos contribuem significativamente para o efeito da deposição no leito do rio entre a SI e SJ. Verifica-se numa primeira instância, que a análise de monitoramento em diferentes escalas somente, não é satisfatória para analisar a dinâmica das vazões sobre a concentração de sedimentos. Análises mais detalhadas com maior número de pontos de monitoramento e análises granulométricas se fazem necessário para compreensão da dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia e para melhor avaliar os efeitos da deposição. De acordo com Von Sperling (2007), a quantidade de sedimento que é transportada no curso d'água forma uma onda que acompanha, de forma geral, a onda de cheia. Da mesma forma, locais de deposição podem suceder locais de desagregação, e vice versa, podendo ocorrer inversões do processo conforme as vazões de trânsito. Mediondo & Tucci (1997) corroboram com esta idéia quando afirmam que as condições iniciais atuantes na microescala se filtram e seus efeitos se

superpõe para resposta hidrológica na mesoescala. Desta forma seria necessário aumentar o número de fatores a serem analisados para melhor representação desses fenômenos de escala associados a dinâmica do sedimento na bacia.

Tabela 4 – Cobertura e ocupação do solo para as três seções de monitoramento na BLF em 2011.

	Montante		Intermediário		Jusante	
	Cobertura do Solo					
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
Agricultura	-	-	250,02	8,24	424,17	8,00
Floresta Mista	55,77	33,41	774,81	25,52	1386,45	26,15
Capoeira	-	-	460,17	15,16	824,40	15,55
Pastagem	107,39	64,34	843,48	27,79	1841,94	34,75
Reflorestamento	-	-	51,21	1,69	73,71	1,39
Pastagem	3,75	2,25	513,81	16,93	603,72	11,39
Residencial	-	-	142,02	4,68	146,07	2,76
Corpo d'água	-	-	-	-	0,45	0,01
	Ocupação do solo					
Suínos (cabeças)	573		16868		26938	
Densidade (cabeças/ha)	3,43		5,56		5,20	

3.4.2. Transporte de sedimentos

O modelo SWAT simula transporte de sedimentos, considerando sólidos em suspensão e sedimento de arrasto. Para isto, é necessário adicionar as contribuições devido ao efeito de arraste para então, analisar os resultados do modelo. Desta forma, foram acrescentados aos dados medidos de concentração, os dados de sedimento de arrasto utilizando o método de Colby (1957) descrito em Carvalho (1994). Este autor recomenda este método para rios com profundidade menor que 3 metros que é a condição do rio Lajeado dos Fragosos. Sendo assim, foi calibrado o SWAT para o transporte de sedimento que é destinado ao reservatório de ITA, utilizando a seção de medição jusante, conforme apresentado na Figura 5.

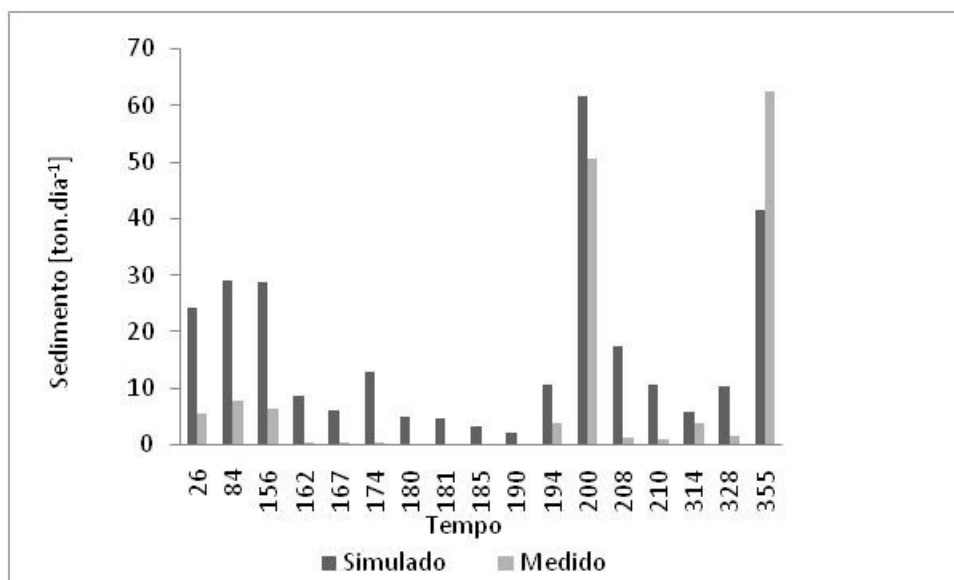


Figura 5 – Calibração do sedimento (2010) para a BLF resultando em NASH de 0,49, considerando dados medidos de sólidos suspensos em dias alternados e modelo com passo de tempo diário.

O NASH para a calibração de sedimento foi de 0,49, indicando que o modelo apresentou valores satisfatórios de correlações. A simulação de sedimento através da modelagem permitiu obter o valor médio anual de perda de solo de 0,94 e 1,10 t.ha⁻¹.ano⁻¹, para os anos de 2010 e 2011. Verifica-se que esta microbacia produziu pouco sedimento ficando abaixo do limite de tolerância médio para solos pouco desenvolvidos, como os solos encontrados na região de estudo. Segundo os trabalhos realizados em Santa Catarina por Bertol & Almeida (2000), nos solos encontrados na região de estudo as perdas de solo toleráveis podem variar entre 7,4 e 10,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Sendo assim, esse estudo indica que o volume de sedimento produzido pela bacia com manejo de suíno e cobertura mista do solo encontra-se abaixo dos valores indicados como risco para estes tipos de solo. Ou seja, em uma primeira estimativa os dados enfatizam que os métodos e práticas de conservação do solo adotados na BLF assim como o manejo de dejetos suíno, mantém a sustentabilidade física do solo. Entretanto é necessário medições com maior detalhamento da granulometria dos sedimentos, coletas na recessão das ondas de cheias e medições dos sedimentos de arraste para obter melhores conclusões.

4. CONCLUSÃO

O modelo SWAT apresentou um bom ajuste para determinar vazões em bacia rural com uso de solo misto e elevada concentração de suínos, tanto para baixas quanto para elevadas precipitações. Para a estimativa de transporte de sedimentos mostrou-se satisfatório. Os resultados das simulações mostraram que é temeroso utilizar o modelo para quantificar produção de

sedimentos a partir dos dados de vazão somente, pois é de fundamental importância calibrar o modelo com dados medidos a campo, principalmente em eventos chuvosos para se obter um balanço mais adequado da carga e do sedimento. A concentração do sedimento em suspensão é variável ao longo do canal principal apresentando máximos em um ponto intermediário do seu comprimento, e antes de atingir a exutória apresenta deposição durante a onda de cheia. O monitoramento em diferentes escalas é importante para avaliar o balanço de sedimento na entrada e saída da bacia. Resultados preliminares indicam que o manejo com dejetos suíno na bacia com cobertura mista do solo praticamente não afetam a produção de sedimento em suspensão na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Embrapa Suínos e Aves que através do Projeto Filó viabilizou as coletas de campo e análises das amostras em laboratório. A Epagri pelo uso do Laboratório de Solos e dados meteorológicos e à Tractebel Energia pela disponibilidade de dados hidrológicos e meteorológicos.

BIBLIOGRAFIA

ABBASPOUR, K.C.; SRINIVASAN, R. SWAT-CUP4: SWAT. (2009). *Calibration and uncertainty programs - a user manual*.

ABBASPOUR, K.C.; SRINIVASAN, R.. SWAT-CUP4: SWAT. (2011). *Calibration and uncertainty programs - a user manual*.

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

ARNOLD, J. G., R. SRINIVASAN, R. S. MUTTIAH, P. M. ALLEN, AND C.WALKER. (1999). *Continental-scale simulation of the hydrologic balance*. *J. American Water Resour. Assoc.* 35(5): 1037-1052.

ARNOLD, J.G., ALLEN, P. (1996). *Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds*. *J. Hydrol.* 176, 57-77.

ARNOLD, J.G., FOHRER, N. (2005).SWAT2000: *Current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling*. *Hydrol. Process.* 19, 563-572.

BERTOL, I. & JA. ALMEIDA. (2000). Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:657-668.

BORAH, D. K., G. YAGOW, A. SALEH, P. L. BARNES, W. ROSENTHAL, E. C. KRUG, AND L. M. HAUCK. (2006).*Sediment and nutrient modeling for TMDL development and implementation*. *Trans. ASABE* 49(4): 967-986.

- BROOKS, K.N; FFOLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M. & THAMES, J.L. (1991). *Hydrology and the management of watersheds*. Ames, Iowa State University Press. p.392.
- COLLINS A.L.; ANTHONY S.G.; HAWLEY, TURNER.J. T. (2009). *The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales*. *Catena*. V. 79, p. 243-250.
- COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica de grandes bacias. (2001). 270 f. Tese (Doutor em engenharia) – Instituto de pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DUFLOTH, J.H., CORTINA, N.V., MIOR, L.C.M. (2005). Estudos Básicos Regionais de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri,. 1 CD.
- EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos Rio de Janeiro 2.ed. 306 p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/CENTRO DE INFORMAÇÕES DOS RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA (EPAGRI/CIRAM). (1999). Zoneamento agroecológico e socioeconômico. Florianópolis: Epagri/Ciram. Disponível em: [http : // ciram .epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/agricultura/zoneAgroecologico/ZonAgroeco.pdf](http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/agricultura/zoneAgroecologico/ZonAgroeco.pdf). Acessado em 10 mar. 2010.
- FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATRINA (FATMA). (2008). Mapeamento temático geral do estado de Santa Catarina. 1 CD.
- FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATRINA (FATMA). (2012). Instrução normativa 11. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acessado em: 20/06/2012.
- GBUREK, W. J.; SHARPLEY, A. N. (1998). *Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds*. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.2, n.27, p. 267-277.
- GREEN, C. H.; VAN GRIENSVEN, A. (2008). *Autocalibration in hydrologic modelling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds*. *Environmental Modelling & Software*, v.23, p.422-434.
- GUPTA, H. V., SOROOSHIAN, S. & YAPO, P. O. (1999). *Status of automatic calibration for hydrologic mdels: comparison with multilevel expert calibration*. *J. Hydrol. Eng.* 4 (2), 133-143.
- JHA, M., J. G. ARNOLD, P. W. GASSMAN, F. GIORGI, AND R. GU. (2006). *Climate change sensitivity assessment on upper Mississippi river basin steam flows using SWAT*. *J. American Water Resource Assoc.* 42(4): 997-1015.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. (1928). Wall-map 150cmx200cm.
- KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D.; BECKER, A. (1998). “*Development and test of aspatially distributed hydrological / water quality model for mesoscale watersheds*”. *Ecological Modelling*, 106, pp. 261 – 289.
- LOPES, N. H. Y. (2008). Análise da produção de água e sedimentos em micro Bacias experimentais com o modelo SWAT. Florianópolis,. 147 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.

- MARTINS, S.G., SILVA, M.L.N., CURI, N., FERREIRA, M.M., FONSECA, S., MARQUES, J.J.G.S.M. (2003). Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, n. 27, p. 395-403.
- MAUSBACH, M. J., AND A. R. DEDRICK. (2004). *The length we go: Measuring environmental benefits of conservation practices*. *J.Soil Water Cons.* 59(5): 96A-103A.
- MEDIONDO, E.M. & TUCCI, C.E.M. (1997). Escala hidrológicas. I a III. *Revista brasileira de recursos hídricos*, 2 (1): 59-122
- MISHRA, S. K.; TYAGI, J.V.; SINGH, V.P.; SINGH, R. (2006). *SCS-CN-based modeling of sediment yield*. *Journal of Hydrology*, v. 324, p. 301-322.
- MORGAN R.P.C. (2001). *A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model*. *Catena*. V.44, p. 305–22.
- RENARD, K., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A. PORTER, J.P. (1991). *RUSLE Revised universal soil loss equation*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30-33.
- SEGANFREDO, M.A. (2007). *Gestão ambiental na suinocultura*. Brasília,DF: Embrapa Informação Tecnológica,. 302 p.
- TRIPATHI M.P, RAGHUWANSHI N.S. E RAO G.P.. (2006). *Effect of watershed subdivision on simulation of water balance components*. *Hydrological Processes*: 20, 1137-1156
- UBERTI, A.A.A.; BACIC, I.LZ.; PANICHI, J.A.V.; LAUS NETO, J.A.; MOSER, J.M.; PUNDEK, M.; CARRIÃO, S.L. (1992). *Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: EPAGRI, 19p.
- ULLRICH, A.; VOLK, M., (2009). *Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity* *Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department of Computational Landscape Ecology, Permoserstr. 15, D-04318 Leipzig, Germany*.
- UMEZAWA, P.K. Previsão de deflúvio (washload) em rios de áreas elevadas. 1979. 217 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
- VAN GRIENSVEN, A.; BAUWENS, W. *Multi-objective auto-calibration for semidistributed water quality models*, *Water. Resour. Res.* 39 (12): Art. No. 1348 DEC 16, 2003.
- VON SPERLING, MARCOS. (2007) *Estudos e modelagem de qualidade da água de rios*. 588p