

AVALIAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DO RIO CUNHA, MUNICÍPIO DE RIO DOS CEDROS/SC, COM O MODELO SWAT

*Nadine Lory Bortolotto*¹; *Masato Kobiyama*²; *Cláudia Weber Corseuil*³

Resumo – Os processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas podem acarretar inúmeros problemas ambientais, em especial os que envolvem a conservação dos recursos hídricos. Neste contexto, aplicou-se na bacia do rio Cunha, município de Rio dos Cedros – SC, o modelo SWAT para avaliação da distribuição espacial do escoamento superficial e da produção de sedimentos por sub-bacias. Calculou-se a taxa de transferência de sedimentos (SDR) e esta foi relacionada às áreas das sub-bacias. O ajuste do modelo para a vazão, após calibração manual, foi razoável. Obteve-se escoamento superficial para as sub-bacias geradas de 641,00 a 1.212,48 mm e produção de sedimentos de 0,34 a 327 (ton.ha⁻¹), os quais tiveram a influência do uso e ocupação e das declividades encontradas nas sub-bacias. A relação inversa entre SDR e área das sub-bacias não foi claramente observada, mas seguiu a mesma tendência de estudos já realizados.

Palavras-Chave – Processos hidrossedimentológicos. Modelagem. SWAT.

Abstract – Hydrosedimentological processes in watersheds can cause several environmental problems, especially with relation to the water resources conservation. In this context, the SWAT model was applied to the Rio Cunha watershed in Rio dos Cedros city, Santa Catarina state, for evaluating the spatial distribution of runoff and sediment yield in the sub-watersheds. The sediment delivery ratio (SDR) was calculated and related to the areas of the sub watersheds. The model adjustment for flow, after manual calibration, was reasonable. The obtained runoff for the created sub watersheds were 641,00 to 1212,48 mm and sediment yield from 0.34 to 327 (ton.ha⁻¹), which had the influence of the land use and occupation and the slope of the sub watershed. The inverse relation between SDR and the sub watersheds area was not clearly observed, but it followed the tendency of other previous studies.

Keywords – Hydrosedimentological process. Modeling. SWAT.

¹ Acadêmica no curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista CNPq, Campus Universitário Trindade, 88040-970, Cx. Postal 476, Florianópolis – SC. E-mail nadinebortolotto@gmail.com

² Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista CNPq, Campus Universitário Trindade, 88040-970, Cx. Postal 476, Florianópolis – SC. E-mail kobiyama@ens.ufsc.br

³ Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFPEL, Campus Capão do Leão, Centro de Engenharias, 96160-000, Pelotas – RS, E-mail: cworseuil@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos hídricos está intimamente ligada ao manejo das bacias hidrográficas, ou seja, preservação de suas nascentes, florestas ripárias e uso e ocupação adequados das áreas de entorno. Quando isto não ocorre, os processos erosivos podem ser acelerados nas bacias.

Os processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas são naturais. A erosão do solo depende de fatores como, a topografia, características do solo, clima e cobertura vegetal, enquanto o transporte para a calha do rio é influenciado pelo volume de água escoado, morfologia da bacia, características dos rios e pelo uso do solo (Verstraeten & Poesen, 2001).

Ward & Trimble (2004) destacam que os sedimentos são os poluentes mais significativos entre todos os presentes na água, devido a sua concentração e impactos no uso da água para as diferentes atividades e necessidades humanas. Os principais impactos causados pelos sedimentos são (i) redução da qualidade da água, (ii) assoreamento, (iii) enchentes e inundações. Em várias bacias hidrográficas rurais várias são as fontes de produção de sedimentos como lavouras, pastagens, florestas, rios, estradas e a identificação da origem dos sedimentos é importante para a compreensão dos fenômenos hidrossedimentológicos (Minella *et al.*, 2007).

Na bacia hidrográfica do rio Cunha, localizada no município de Rio dos Cedros – SC, Médio Vale do Itajaí, houve uma grande perda de solos por fluxos de escombros (Kobiyama *et al.*, 2010b), ocorridos em 2008, onde chuvas anômalas favoreceram a elevada magnitude desses fenômenos. A região do Vale do Itajaí é uma das mais importantes do estado de Santa Catarina. Deste modo, estudos hidrossedimentológicos são muito relevantes, pois podem vir a auxiliar a compreensão destes fenômenos e, conseqüentemente, definir mecanismos de prevenção.

A utilização de modelos matemáticos permite identificar e quantificar os processos hidrossedimentológicos e analisar seus possíveis impactos ambientais. Neste sentido, o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) pode auxiliar na compreensão de tais processos que são complexos e interdependentes.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar os processos hidrossedimentológicos da bacia hidrográfica do rio Cunha com ênfase na produção de sedimentos utilizando o modelo SWAT.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Cunha (16,57 km²) está totalmente inserida no município de Rio dos Cedros - SC e localiza-se entre as longitudes 49°17'W e 49°21'W e latitudes 26°41'S e 26°44'S (Figura 1).

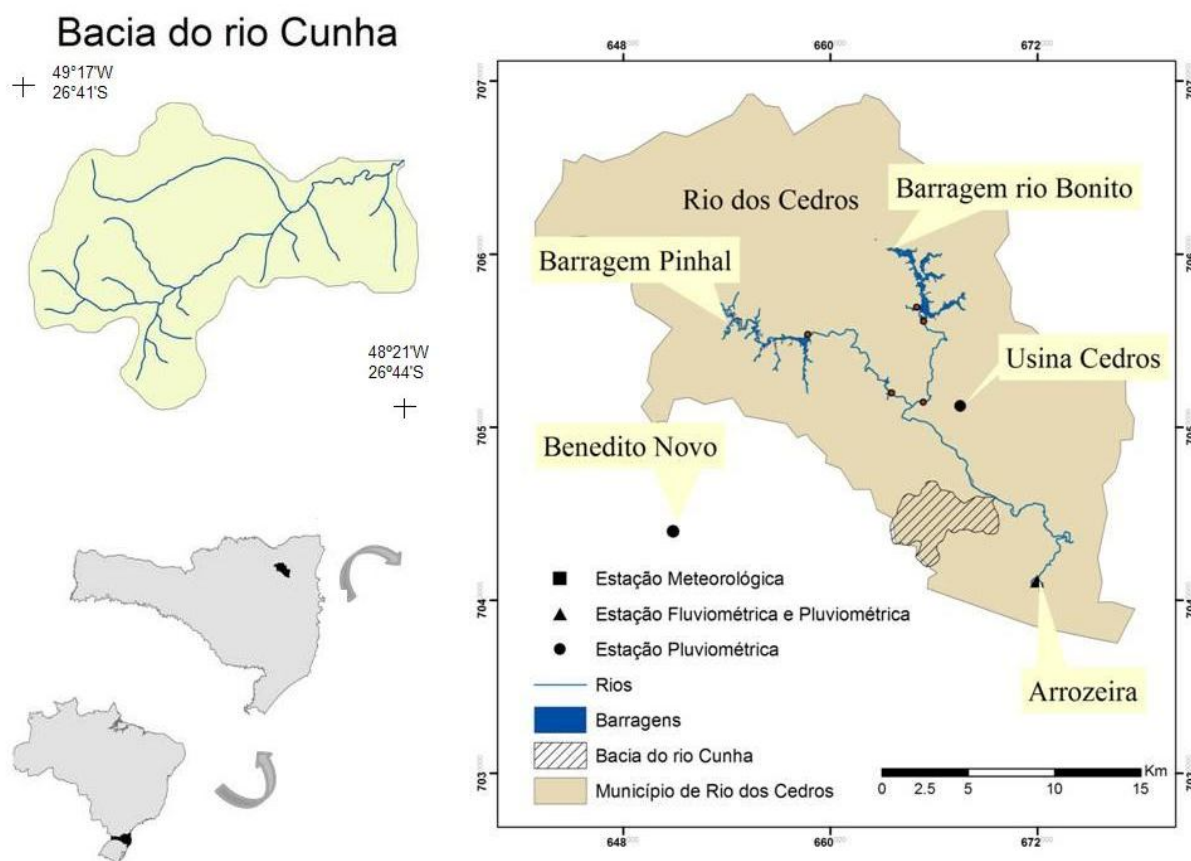


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Cunha, das barragens e das estações de monitoramento utilizadas.

A região em que a bacia está inserida caracteriza-se como clima Cfa, segundo a classificação de Köppen. A Floresta Ombrófila Densa é predominante, contudo encontra-se bastante descaracterizada devido à produção de culturas agrícolas, sendo as principais: arroz irrigado, banana, milho, soja, palmito, mandioca, cana-de-açúcar, hortaliças e frutas. Além disso, encontram-se áreas de pastagem e de reflorestamento de pinus e eucalipto.

A bacia hidrográfica do rio Cunha é de terceira ordem, considerando a hierarquização fluvial de Strahler com densidade de drenagem de 1,50 km⁻¹. A rocha predominante é o migmatito (tipo de

rocha metamórfica) e os solos predominantes são os CAMBISSOLOS e os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO (Kobiyama *et al.*, 2010a).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Para o presente trabalho foram utilizadas informações da carta topográfica Rio dos Cedros (MI – 2881-1), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizada em meio digital pela EPAGRI/CIRAM através do site <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>. A escala é 1: 50.000, projeção UTM (Fuso 22S), data Imbituba - SC e SAD 69. As imagens de satélite utilizadas para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Cunha foram do sensor *ASTER* (*Advanced Spacebourne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução espacial de 15 m, de abril de 2006.

Foram utilizados dados meteorológicos da estação Indaial – SC (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET), localizada nas coordenadas 26° 54' 00" S e 49° 16' 05" W, com altitude de 86 m. As variáveis medidas pela estação consistiram nos dados diários de: precipitação (mm); temperatura mínima e máxima do ar (°C); umidade relativa do ar (%); velocidade do vento ($m.s^{-1}$), e insolação (horas de brilho solar). A insolação diária foi convertida para quantidade de radiação solar ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$), a partir da aproximação proposta por Glover & McCulloch (1958), que relaciona a radiação solar global diária com a radiação solar global extraterrestre.

Os dados pluviométricos e fluviométricos necessários para entrada no modelo foram obtidos das estações disponíveis no site da Agência Nacional das Águas (ANA), através do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) (Tabela 1). O período de dados utilizados foi de 19 de janeiro de 1987 a 31 de dezembro de 2007. A estação fluviométrica Arrozeira localiza-se na exutória da bacia do rio dos Cedros, principal rio da região e compreende uma área de drenagem de 509,95 km². Há a presença de duas represas de uma concessionária de geração de energia elétrica e chamam-se Barragem Pinhal (área superficial de 2,18 km²) e Barragem Rio Bonito (3,02 km²). As barragens localizam-se à montante do ponto de monitoramento e também em relação à bacia do rio Cunha. A estação Arrozeira fica aproximadamente 7 km de distância da exutória da bacia do rio Cunha (Figura 1).

Tabela 1 – Estações pluviométricas, fluviométrica e meteorológica.

Nome da Estação	Tipo	Operadora	Código
Arrozeira	Fluviométrica	EPAGRI	83675000
Arrozeira	Pluviométrica	EPAGRI	02649008
Usina Cedros	Pluviométrica	CELESC	02649030
Benedito Novo	Pluviométrica	EPAGRI	02649003
Indaial	Meteorológica	INMET	A817

3.2. Processamento dos Dados

O modelo numérico do terreno (MNT) foi um dos dados espaciais básicos requeridos pelo modelo SWAT. O mesmo foi obtido a partir das curvas de nível e pontos cotados obtidos da carta topográfica digital Rio dos Cedros. O MNT foi gerado no ArcGIS 9.2, pelo método de interpolação de rede triangular irregular (TIN) e convertido para uma matriz numérica com informações de elevação com resolução espacial de 15 m.

As imagens de satélite usadas na elaboração do uso e ocupação do solo georreferenciadas no ENVI 4.2 através do método de transformação polinomial de 1º grau e do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor*). Neste procedimento, o erro médio quadrático (EMQ), que leva em consideração as diferenças entre os valores calculados e reais (das coordenadas) foi de 0,834, (menos de 1 *pixel*), considerável aceitável para uma imagem de 15 m de resolução de *pixel*. Os procedimentos para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foram realizados no IDRISI Andes 15.0. Para a bacia do rio Cunha foram consideradas cinco classes de uso e ocupação do solo: água, agricultura, floresta, pastagem e solo exposto. Esta última classe contemplou também as estradas. Com base nessas classes, foram coletadas amostras de treinamento (conjunto de *pixels*), representativas de cada uma, por meio de digitalização em tela sobre a imagem. A classificação empregada foi supervisionada, utilizando o método da Máxima Verossimilhança. O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado com resolução espacial de 15 m.

Para bacia foram definidos três intervalos de classes de declividade recomendados por Ramalho Filho & Beek (1995) para usos conservacionistas do solo. O mapa de tipos de solos da bacia do rio Cunha foi obtido a partir das informações contidas no Levantamento de Solos do Estado de Santa Catarina, escala 1:100.000, em formato vetorial, disponibilizado pelo IBGE (2005).

3.3. Caracterização dos Solos

Foram coletadas 10 amostras deformadas para cada tipo de solo identificado na bacia do rio Cunha entre os dias 09 e 12 de outubro de 2010. As amostras foram retiradas das camadas superiores do solo, horizontes A e B, em média à profundidade de até 15 cm e a textura foi determinada.

Outros parâmetros requeridos pelo modelo, referentes aos tipos de solos foram: nome do solo, número de camadas, profundidade total e grupo hidrológico do solo. Para todos os tipos de solos existentes na bacia foi considerada apenas uma camada de solo. Para esta, definiu-se a profundidade da camada (1,50 m), capacidade de água disponível, porcentagem de carbono orgânico, condutividade hidráulica, albedo do solo, fator de erodibilidade do solo (na camada). O grupo hidrológico dos solos foi determinado com base em Sartori *et al.* (2005). A capacidade de água disponível foi calculada segundo Assad *et al.* (2001), a partir do percentual de areia total das amostras de cada tipo de solos.

O albedo do solo foi determinado com base em Pereira (2002) e o percentual de carbono orgânico foi adotado segundo o Levantamento de Solos do Estado de Santa Catarina (EMBRAPA, 1998). A condutividade hidráulica saturada foi estimada através do algoritmo *Rosetta Lite version 1.1* (SCHAAP *et al.*, 2001), disponível no software *RETC 6.02*. O fator de erodibilidade do solo (K) determinado pela equação proposta por Wischmeier *et al.* (1971).

3.4. SWAT

O modelo hidrossedimentológico SWAT é um modelo conceitual, semi-distribuído, que opera em passo de tempo diário. O seu objetivo principal é prever impactos sobre a gestão da água, sedimentos e produtos químicos agrícolas em bacias hidrográficas. O modelo possui oito componentes principais: hidrologia, meteorologia, sedimentação, temperatura do solo, crescimento das plantas, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola (Arnold *et al.*, 1998).

Para estimar o escoamento superficial, o modelo utiliza o método da Curva Número e, a vazão de pico, pelo Método Racional Modificado. A produção de sedimentos é determinada pela Equação Universal da Perda de Solo Modificada – MUSLE de Williams (1975).

O modelo requer como dados de entrada: i) tabulares (meteorológicos, vazão, sedimento e agroquímicos); ii) espaciais (modelo numérico do terreno, tipos de solos, uso do solo e classes de declividade).

Com base nos dados de entrada foi feita uma calibração manual do modelo para a vazão total onde se utilizou os dados de vazão (mm/dia) da estação Arrozeira para a comparação e ajuste dos resultados das simulações. O período utilizado na calibração foi de julho de 2001 a maio de 2002, totalizando onze meses. O Coeficiente de Nash e Sutcliffe (*NASH*) e o Desvio do Erro (*Dv*) foram utilizados como funções objetivo para verificação do desempenho do modelo. O fluxograma metodológico (Figura 2) demonstra as etapas de utilização do modelo na bacia do rio Cunha.

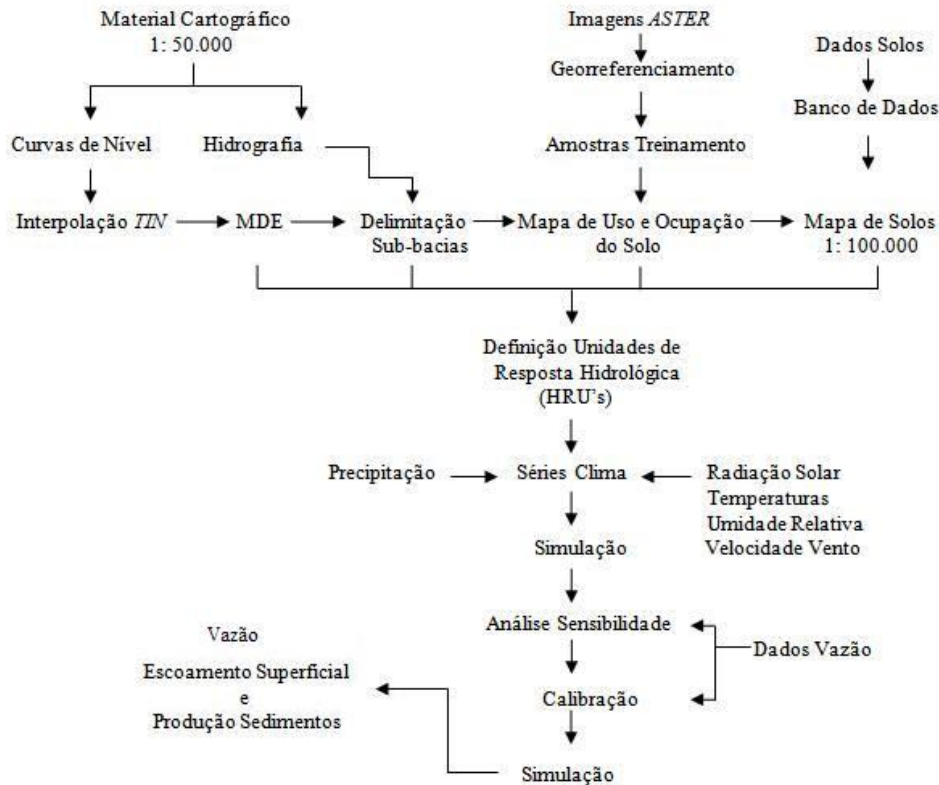


Figura 2 – Fluxograma Metodológico da utilização do SWAT.

Através dos resultados obtidos com o modelo SWAT, foi calculada a taxa de transferência de sedimentos (SDR) para as sub-bacias pertencentes a bacia do rio Cunha, sendo a SDR dada pela razão entre a produção de sedimentos na exutória da sub-bacia ($t.km^{-2}.ano^{-1}$) e a perda de solo da sub-bacia ($t.km^{-2}.ano^{-1}$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 e a Figura 3 descrevem as classes de declividade adotadas para a bacia do rio Cunha. A bacia possui distintamente três formas de relevo, correspondentes às áreas planas e pequenas colinas, áreas fortemente onduladas (planaltos) e uma zona de transição com declives acentuados e vales (Kobiyama *et al.*, 2010a). Em alguns locais da bacia há a ocorrência de corredeiras e cachoeiras, o que demonstra a mudança abrupta das características do terreno em adição ao tipo de rochas encontradas na bacia (predominantemente migmatito).

Tabela 2 – Classes de declividade para a bacia do rio Cunha.

Classe de Declividade (%)	Característica	Área (ha)	Área (%)
0 – 20	Plano a Ondulado	581,00	35,05
20 – 45	Forte Ondulado	667,64	40,28
> 45	Montanhoso	408,90	24,67

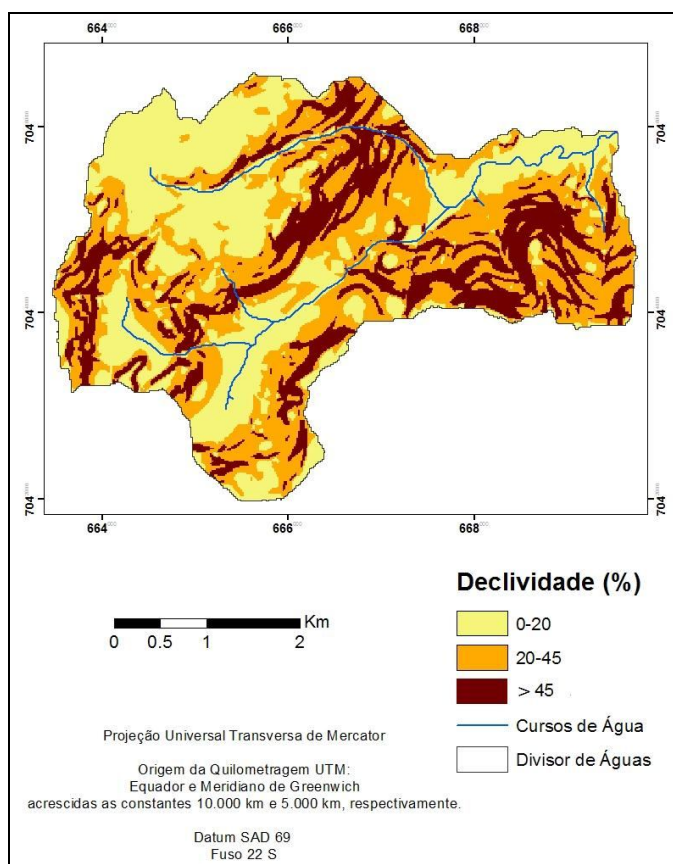


Figura 3 – Classes de declividade da bacia do rio Cunha.

A Tabela 3 e a Figura 4 mostram a caracterização da bacia do rio Cunha em relação ao uso e ocupação do solo e indicam que a bacia está bem preservada, visto que a área coberta por florestas corresponde a 60% da área total da mesma.

Tabela 3 – Áreas do uso e ocupação do solo da bacia do rio Cunha.

Uso e Ocupação do Solo	Área (ha)	Área (%)
Água	14,33	0,86
Floresta	999,43	60,30
Pastagem	368,44	22,20
Agricultura	213,79	12,90
Solo Exposto/Estradas	61,65	3,72

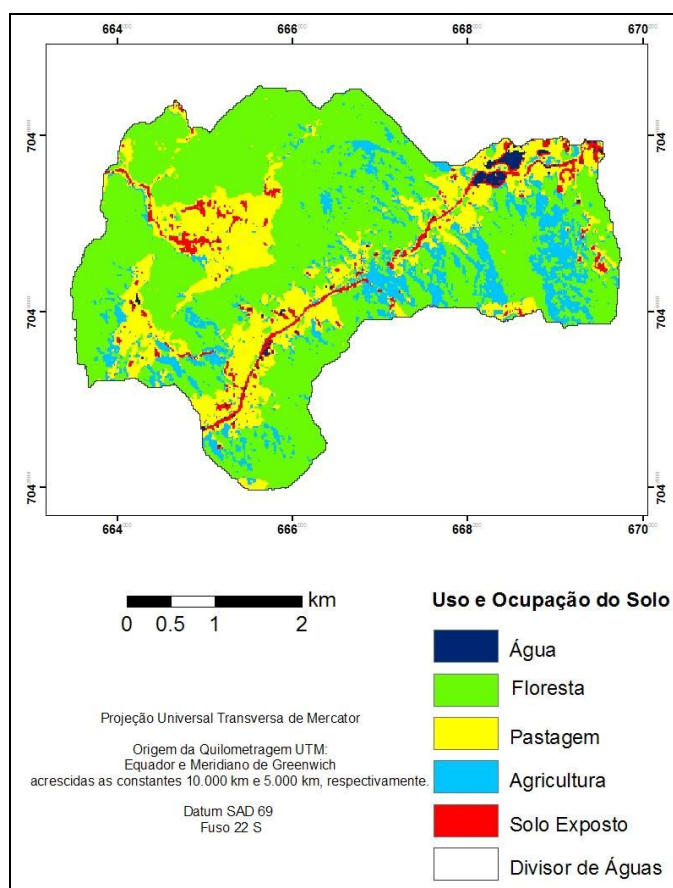


Figura 4 – Classes de uso e ocupação do solo da bacia do rio Cunha.

A Tabela 4 e a Figura 5 descrevem as características da bacia do rio Cunha quanto aos tipos de solos. Na Figura 5, os CAMBISSOLOS foram reunidos em uma só classe, não havendo diferenciação para HÁPLICOS ou Distróficos.

Tabela 4 – Tipos de solos da bacia do rio Cunha.

Tipos de Solos	Área (ha)	Área (%)
CAMBISSOLOS Distróficos	1068,05	64,50
CAMBISSOLOS HAPLICOS	150,85	9,10
ARGISSOLOS VERMELHO - AMARELOS	438,10	26,40

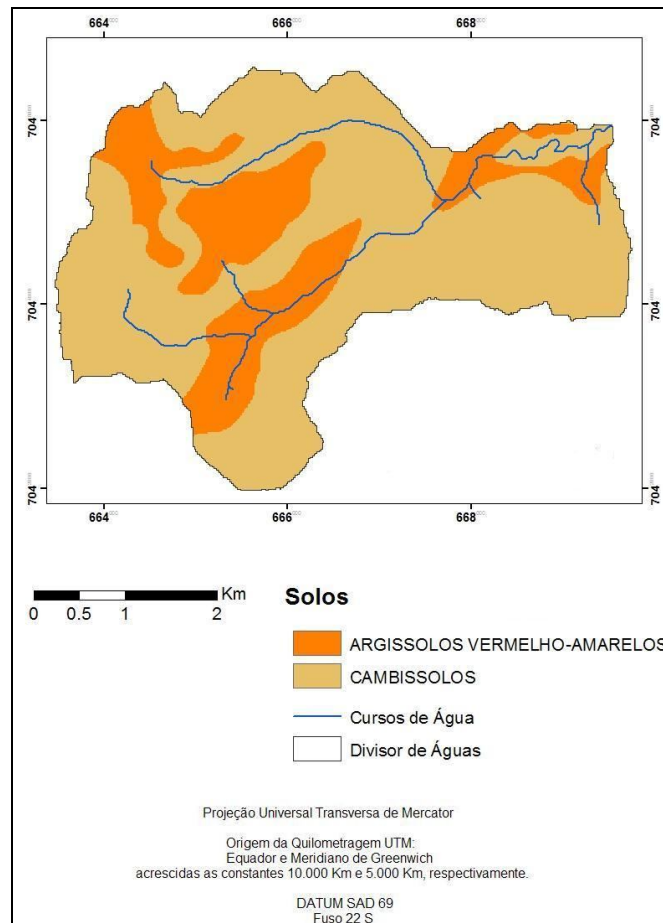


Figura 5 – Mapa de Tipos de Solos da Bacia do rio Cunha.

O SWAT aplicado à bacia do rio Cunha gerou 13 sub-bacias e 133 Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs). A calibração apresentou *NASH* de 0,43 e *Dv* igual a -0,02. Green & Van Griensven (2008) mencionam que valores de *NASH* superiores a 0,40 já indicam bom ajuste do modelo. Já para o *Dv* o valor obtido, bem próximo de zero, indica um bom ajuste entre os dados. Os resultados de produção de sedimentos não foram considerados na calibração do modelo por não se ter dados observados de sólidos suspensos para a bacia. As Tabelas 5 e 6 mostram as áreas das classes uso e ocupação do solo e de declividade para as sub-bacias da bacia do rio Cunha.

Tabela 5 – Áreas (%) do Uso e Ocupação do Solo para as Sub-bacias.

Sub-bacia	Uso e Ocupação do Solo - Área (%)					
	Área (km ²)	Água	Floresta	Pastagem	Agricultura	Solo Exposto
1	0,09	6,10	4,82	50,76	11,42	26,90
2	1,11	9,20	27,49	37,24	16,05	10,01
3	0,70	-	55,80	17,45	25,32	1,29
4	4,04	-	81,14	12,08	5,27	1,58
5	0,19	0,10	28,45	50,06	15,66	5,73
6	1,43	0,14	57,92	7,71	32,69	2,68
7	1,00	0,20	28,36	56,46	4,60	10,37
8	3,40	0,26	58,41	21,62	16,51	3,55
9	0,07	5,45	11,82	62,12	1,82	18,79
10	2,71	0,24	66,24	21,36	10,70	1,51
11	0,48	1,02	51,16	35,71	5,54	6,56
12	0,63	0,21	78,32	13,67	6,59	1,21
13	0,72	0,71	47,77	30,87	15,28	5,29

Tabela 6 – Áreas (%) das Classes de Declividade para as Sub-bacias.

Sub-bacia	Área (km ²)	Classes de Declividade - Área (%)		
		0 – 20%	20 – 45 %	> 45 %
1	0,09	88,32	11,68	-
2	1,11	53,05	29,72	17,23
3	0,70	4,43	42,68	52,93
4	4,04	49,99	32,50	17,51
5	0,19	40,80	49,50	9,70
6	1,43	9,63	54,73	35,41
7	1,00	54,72	36,72	8,51
8	3,40	26,25	43,88	29,78
9	0,07	93,33	6,67	-
10	2,71	32,38	41,43	26,22
11	0,48	46,46	35,85	17,69
12	0,63	34,83	52,29	12,88
13	0,72	44,70	39,52	15,72

A Figura 6 mostra o ajuste do SWAT entre dados mensais observados e simulados para a vazão total. A média mensal da vazão observada é 89,8 mm e para a simulada é de 87,6 mm. A maior diferença entre os dados ocorreu no mês de maio de 2002 que foi de 40 mm.

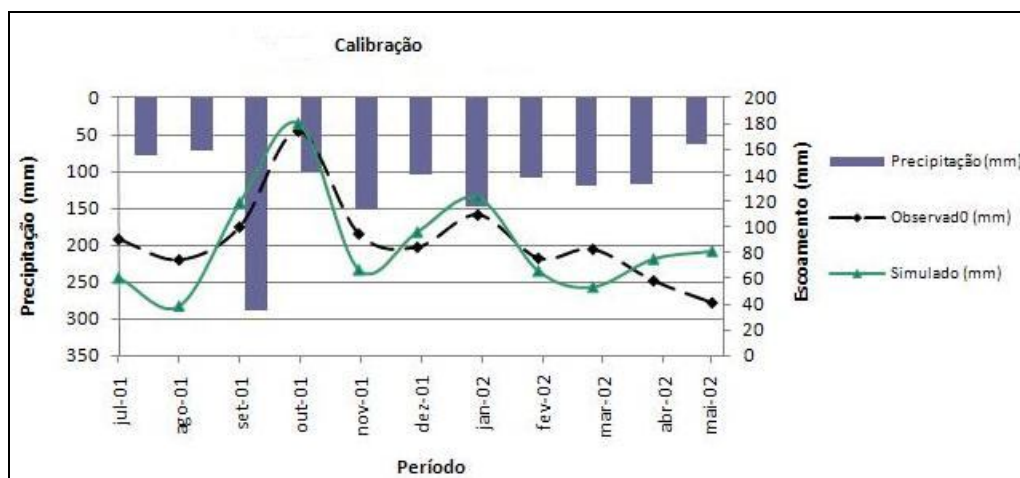


Figura 6 – Comparação entre dados observados e simulados.

Contudo, observa-se que esse ajuste não é o mais indicado para avaliação do modelo na bacia em estudo, visto que as informações de vazão não foram obtidas na exutória da mesma. Supõe-se que se estas vazões fossem da exutória um ajuste maior teria sido encontrado, representativo das características do escoamento real da bacia. Mine & Clarke (1996) mencionam que a modelagem da vazão está diretamente relacionada à qualidade e disponibilidade de informações hidrológicas. Por isso, a capacidade de explorar o potencial de modelos de vazão pode tornar-se pequena, visto que, em grande maioria, tais modelos são aplicados em situações onde há a escassez de dados, como foi no caso do presente trabalho.

Aqui se destaca somente o ano de 2001 para a distribuição espacial do escoamento superficial (mm) por sub-bacia (Figura 7). Nota-se que para o ano de 2001, o SWAT calculou vazão total e escoamento superficial da bacia do rio Cunha 1.105,50 mm e 970,80 mm, respectivamente.

A variação da distribuição espacial do escoamento superficial anual nas sub-bacias é de 641,10 a 1.212,48 mm que se encontra na Sub-Bacia 4. Segundo a Tabela 5, esta sub-bacia apresenta grande parte de sua cobertura composta de floresta (81%), o que poderia gerar o menor escoamento superficial conforme outros estudos tais como Bosch & Hewlett (1982) e Hodnett *et al.* (1995).

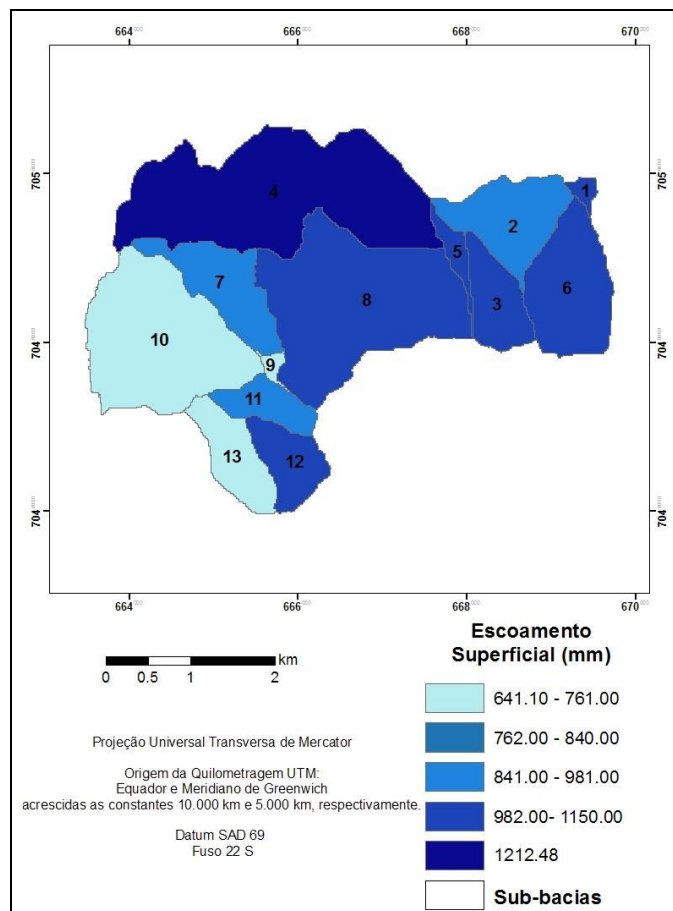


Figura 7 – Distribuição Espacial do Escoamento Superficial nas Sub-bacias para o ano de 2001.

As Sub-Bacias 10 e 13 são as que apresentam menor escoamento superficial (747,90 e 641,00 mm, respectivamente). Isto foi evidenciado visto que possui a maior parte de sua cobertura composta de florestas (66% e 47,7%), o que provoca a diminuição da parcela da chuva que escoou pela superfície do solo. Para as declividades também apresentam maior percentual de área (73,8% e 84%) distribuída entre as classes planas a fortemente onduladas o que indica baixa produção de escoamento superficial.

As Sub-Bacias 3, 6 e a 8 apresentam percentual de suas áreas significativamente ocupada por cultivos agrícolas e pastagens (42,7%, 40,4%, 38%, respectivamente) o que colaborou para o incremento de escoamento superficial (1.142,00; 1.121,00; e 1.038,00 mm, respectivamente). Isto ocorreu visto que essas coberturas oferecem pouca área de interceptação às gotas de chuva e, por haver preparo/revolvimento do solo, muitas vezes, as camadas superficiais de infiltração da água da chuva encontram-se bastante modificadas. Além disso, estas Sub-Bacias apresentam grande variação na declividade, sendo compostas basicamente das porções fortemente onduladas as montanhosas da bacia do rio Cunha (95,6%, 90%, e 73,6%, respectivamente), o que favorece o aumento do escoamento superficial.

A Figura 8 mostra a distribuição espacial para a produção anual de sedimentos ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), por sub-bacia, também para o ano de 2001. A produção de sedimentos varia de 0,34 a 327 ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). As Sub-Bacias que apresentaram maior produção de sedimentos foram as de número 3 e 6. Estas se localizam próximas à exutória da bacia do rio Cunha e são caracterizadas por CAMBISSOLOS. A alta produção de sedimentos destas pode ter associada ao valor elevado de escoamento superficial das mesmas (1.142,00; 1.121,00 mm, respectivamente). O escoamento superficial favorece o desprendimento das partículas de solo, através das tensões cisalhantes envolvidas no escoamento da água pela superfície do solo (Pruski & Sobrinho, 2009). As partículas são carregadas até os rios aumentando a quantidade de sedimentos nos mesmos, caracterizando os processos de erosão hídrica. Além disso, as Sub-Bacias 3 e 6 apresentam grande percentual de suas áreas em regiões bastante declivosas (Tabela 6), solos frágeis e uso do solo caracterizada por pastagens e cultivos agrícolas (42,7% e 40,4%), mostrados na Tabela 5.

A Sub-bacia 4, apesar do elevado escoamento superficial, apresentou baixa produção de sedimentos. Na Tabela 6 observa-se que esta Sub-bacia apresenta sua maior área em regiões planas a fortemente onduladas (82,49%), assim como as Sub-bacias 7 (91,44%), 9 (100%), 11 (82,31%) e 12 (87,12%) que também apresentaram baixa produção de sedimentos. Como a USLE e seus derivados (RUSLE, MUSLE) já têm mostrado, a declividade é um fator importante nos processos erosivos. A baixa produção de sedimentos na Sub-bacia 4 deve ter resultado da baixa declividade em detrimento da ação do escoamento superficial que se apresentou superestimado em relação ao uso e ocupação do solo encontrado na sub-bacia.

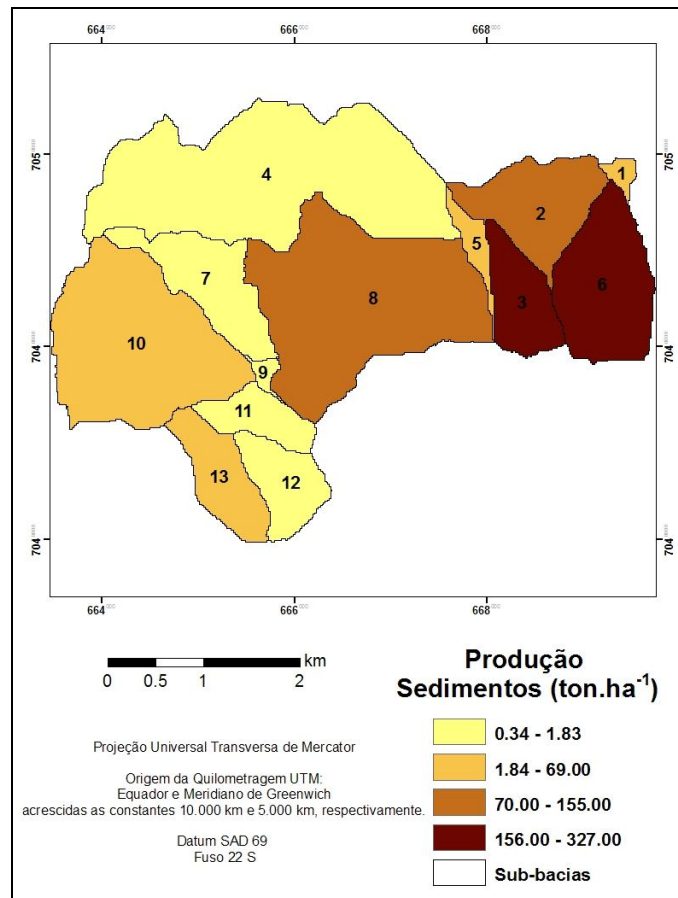


Figura 8 – Distribuição Espacial da Produção de Sedimentos nas Sub-bacias no ano 2001.

A taxa de transferência de sedimentos obtida para cada sub-bacia gerada pelo SWAT foi relacionada à sua área (Figura 9), que não apresenta de forma clara a relação inversa entre o SDR e a área das sub-bacias, como indica Walling (1983), ou seja, quanto maior a área da bacia, menor é a taxa de transferência de sedimentos. Contudo, observa-se uma tendência desta relação entre as duas variáveis.

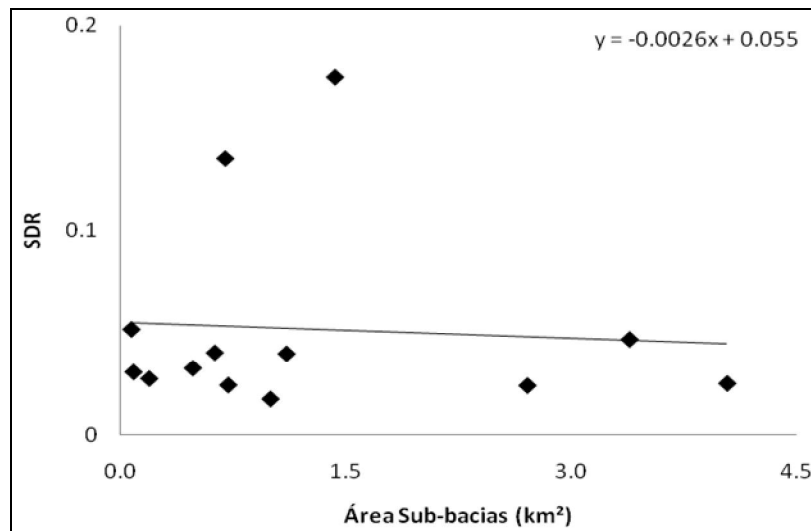


Figura 9 – Taxa de Transferência de Sedimentos (SDR) em relação às Áreas das Sub-bacias.

A Figura 10 apresenta a relação entre área da bacia e a produção de sedimentos específica (SSY), ($t.km^{-2}.ano^{-1}$), elaborada por De Vente *et al.* (2007), baseada em inúmeros estudos sobre o assunto realizados no mundo e os dados obtidos do presente trabalho. A SSY das sub-bacias foi inserida na relação destes autores e seguem a relação proposta.

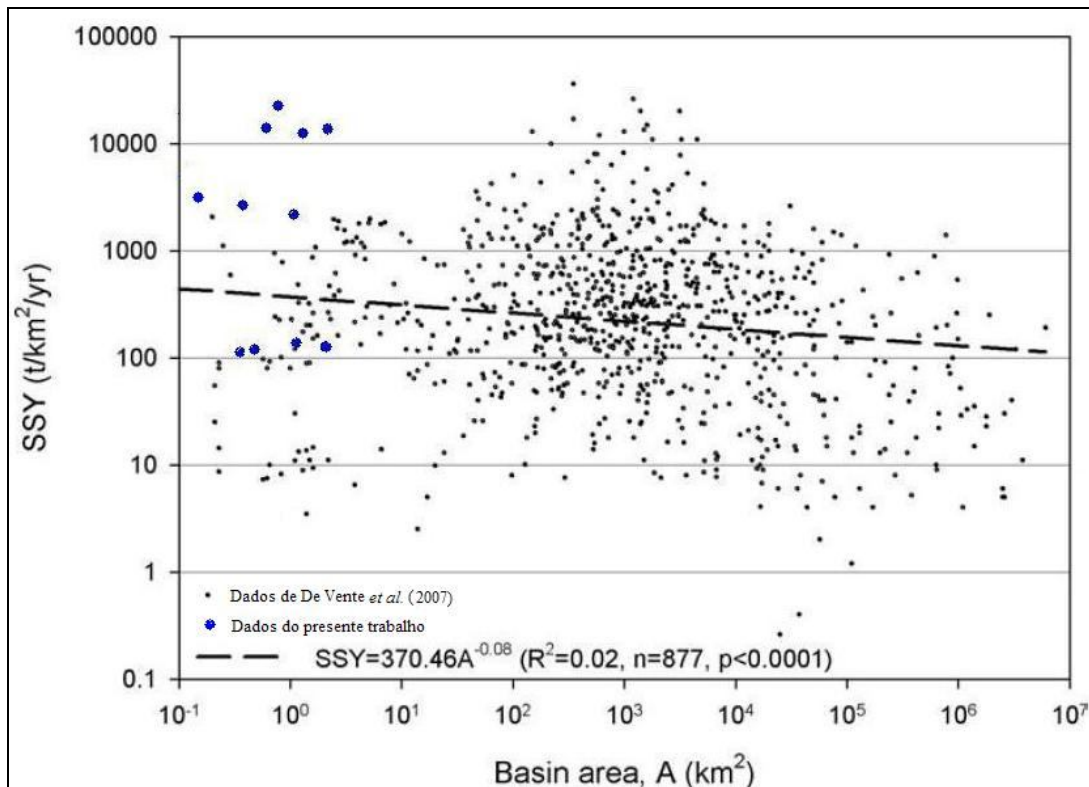


Figura 10 – Produção de sedimentos específica das sub-bacias do rio Cunha na relação proposta por De Vente *et al.* (2007).

Os mesmos autores mencionam que diversos estudos demonstram uma relação positiva entre a *SSY* e a área das bacias. Isto se deve visto que relações negativas sugerem dominância em processos erosivos nas encostas e relações positivas dominância nos processos de erosão em canais fluviais. Ressalta-se ainda que a relação entre *SSY* e área da bacia apresenta-se positiva em situações de mobilização de grandes volumes de sedimentos, como em escorregamentos e fluxos de escombros. A bacia do rio Cunha, historicamente, apresenta a ocorrência de desastres naturais, como os escorregamentos, portanto estudos relativos a estes fenômenos poderão indicar outro comportamento da taxa de transferência de sedimentos na bacia.

5. CONCLUSÕES

O modelo SWAT aplicado na bacia do rio Cunha permitiu avaliar a distribuição espacial do escoamento superficial anual (641,00 a 1.212,48 mm) e a produção anual de sedimentos (0,34 a 327 ton.ha⁻¹) para as sub-bacias no ano 2001. Em geral, a variação entre os resultados para as sub-bacias se deu devido à influência do uso e ocupação e também às declividades encontradas nas mesmas.

A calibração do modelo mostrou um ajuste razoável em relação aos dados de vazão, mesmo estes não sendo medidos na exutória da bacia do rio Cunha. Contudo este ajuste não é o mais indicado, porém foi adotado visando à regionalização da utilização do modelo.

O SDR para as sub-bacias, geradas pelo SWAT não apresentou claramente a relação inversa com a área das mesmas. Entretanto, apresentou-se próximo à tendência apresentada por estudos já realizados, o mesmo ocorreu com a *SSY*.

Estudos que envolvam um maior número de dados para avaliar os processos hidrossedimentológicos são importantes para a sua compreensão, pois são inúmeros os fatores envolvidos nestes fenômenos. Além disso, melhorar aqueles que envolvem a mobilização de grandes volumes de sedimentos, como os fluxos de escombros, de frequente ocorrência na bacia do rio Cunha, para avaliar se a produção de sedimentos na bacia, de maior relevância, ocorre através de processos crônicos, associados à erosão hídrica, ou catastróficos, desencadeados por desastres naturais.

6. BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. (1998). “*Large Area hydrologic Modeling and Assessment, Part I: Model Development*”. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 34, Nº1.

ASSAD, M.L.L.; SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; ZULLO Jr, J. (2001). “*Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Passo Fundo, v.9, n.3, p.588-596.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. (1982) “*A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*”. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.55, p.3-23.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. (2007). “*The Sediment Delivery Problem Revisited*”. Progress in Physical Geography, v.31, p.155-178, 2007.

EMBRAPA – CNPS (1998). *Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina*. Boletim de Pesquisa Nº 6 . Rio de Janeiro.

GLOVER, J.; MCCULLOCH, J. S. G. (1958). “*The Empirical relation between Solar Radiation and Hours of Sunshine*”. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Volume 84. P. 172–175.

GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M.; CORREA, G.P.; ROCHA, H.L.; GIGLIO, J.N. (2009). “*Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC*”. in: Anais do XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Campo Grande. 19 p.

GREEN, C.H.; van GRIENSVEN A.. (2008). “*Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in Small-scale Watersheds*”. Journal of Environmental Modeling and Software. Vol. 23. P. 422-434.

HODNETT, M.G.; SILVA, L.P.; ROCHA, H.R.; SENNA, R.C. (1995) “*Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture*”. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.170, p.233-254.

KOBİYAMA, M.; BORTOLOTO, N.L.; GAVA, T.; MARCHI, E.C. (2010). “*Geometria na junção fluvial: estudo de caso das bacias do rio Negrinho e rio Cunha, Santa Catarina*”. Revista de Geografia, Recife, v.27, n.2, p.199-209.

KOBİYAMA, M.; GOERL, R.F.; CORREA, G.P.; MICHEL, G.P. (2010). “*Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects*”. In: WRACHIEN, D.; BREBBIA, C.A. (Orgs.) Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III. Southampton: WITpress. p.77-88

MINE, M. R. M. CLARKE, R. T. (1996). “*O Uso do Topmodel em Condições Brasileiras: Resultado Preliminar*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.1, p.89 – 105.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., REICHERT, J. M., SANTOS, D. R. (2007). “*Identificação e Implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas*”. R. Bras. C. Solo, 31: pp. 1637-1646.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.(2005). *Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation – Version 2005*. Temple: Agricultural Research Service (USDA) & Texas Agricultural Experiment Station (Texas A&M University), 541p.

PEREIRA, A.R. (2002). “*Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas*”. Guaíba: Agropecuária. 478 p.

PRUSKI, F.F.; SOBRINHO, T.A. (2009). “*Erosão Hídrica: Modelagem de seus Processos*”. In Produção de Sedimentos e seus Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos. Org. por Ide, C. N.; do Val, L. A. A; Ribeiro, M. L. Campo Grande – MS. Ed. Oeste. pp. 559 – 579

RAMALHO FILHO, A. BEEK, K. L. (1995). “*Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras*”. 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS. 65 p.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A.M.; LOMBARDI NETO, F. (2005). “*Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, p. 05-18.

SCHAAP, M.G., F.J. LEIJ, and M. Th. van GENUCHTEN, 2001. “*Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*”. Journal of Hydrology, 251:163-176.

VERSTRAETEN, G.; POESEN, J. (2001). “*Modeling the long-term sediment trap efficiency of small ponds*”. Hydrological Processes, v.15, p.2797 – 2819.

WALLING, D.E. (1983). “*The sediment delivery problem*”. Journal of Hydrology, v.65, p.209-237.

WARD, A; TRIMBLE, S.W. (2004). “*Environmental Hydrology*”. CRC-Lewis Press Boca Raton, Fl. pp. 475.

WILLIAMS, J.R. (1975). “*Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor*”. In Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the sediment yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S-40. p. 244-252.

WISCHMEIER, W, H; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. (1971). “*A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*”. The Journal of Soil and Water Conservation. SCSA , 26:189-193.