



**UFSM**

**Dissertação de Mestrado**

**AVALIAÇÃO DO PARAMETRO DE PROPAGAÇÃO DE  
SEDIMENTOS DO MODELO DE WILLIAMS (1975) NA BACIA  
DO RIO VACACAÍ-MIRIM COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

---

**Leandro Casagrande**

**PPGEC**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**Outubro/2004**

**AVALIAÇÃO DO PARAMETRO DE PROPAGAÇÃO DE  
SEDIMENTOS DO MODELO DE WILLIAMS (1975) NA BACIA  
DO RIO VACACAI-MIRIM COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

---

**por**

**Leandro Casagrande**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

Outubro/2004

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado:

**AVALIAÇÃO DO PARAMETRO DE PROPAGAÇÃO DE  
SEDIMENTOS DO MODELO DE WILLIAMS (1975) NA BACIA  
DO RIO VACACAI-MIRIM COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

Elaborada por:  
**Leandro Casagrande**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva**  
Presidente/Orientador (CT/UFSM)

---

**Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira**  
Membro (Universidade Federal do Espírito Santo – UFES)

---

**Prof. Dr. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva**  
Membro (CT/UFSM)

Santa Maria, 14 de outubro de 2004.

*“Com a qualidade da paciência saberemos seguir o fluxo da energia passo a passo em direção ao sucesso de nossas realizações. Se manifestarmos uma paciência amorosa, sem esperar que as coisas aconteçam rapidamente, estaremos conscientes de que tudo o que fazemos tem um valor real. A natureza nos dá o grande exemplo de amorosa paciência através dos maravilhosos tesouros que cria.”*

**SÔNIA CAFÉ**

## AGRADECIMENTOS

No desenvolvimento deste trabalho, pude contar com várias pessoas que de certa forma tomaram uma importância relevante nas várias atividades inerentes á elaboração desta dissertação. Algumas dessas pessoas tomaram uma importância decisiva com o passar do tempo pelas orientações e esclarecimentos prestados, e outras que pelos pequenos auxílios em ocasiões necessárias merecem ser citadas também.

Agradeço ao curso Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de participar do Mestrado em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aos meus pais, Jaime C. Casagrande e Zeni de Fátima Nogueira Casagrande, por todo o apoio e incentivo dedicado a mim durante a elaboração do trabalho.

Ao Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva por toda a orientação, apoio e pela transmissão de conhecimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, das disciplinas em que participei, pelo aprendizado e a amizade.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação pela troca de conhecimentos, pelos auxílios prestados e pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Alcides Sartori e João Francisco Nunes Maciel pela amizade e apoio na coleta dos dados de campo e nas análises granulométricas.

Ao Prof. Gelson Lauro Dal’Forno pela amizade de longa data e pelo incentivo a participar do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Ao prof. Ari Zago pelo auxílio nas coletas de solos para amostragens granulométricas.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento Engenharia Rural – LAGDER – UFSM, Centro de Ciências Rurais, pelos serviços prestados na elaboração dos mapas.

A todos aqueles que embora não tenham sido diretamente citados, de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE REDUÇÕES.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>I</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
3.1. Importância do estudo da produção, transporte e deposição de sedimentos.....	5
3.2. Conceitos de bacias hidrográficas.....	6
3.3. Processos erosivos.....	7
3.3.1. Fatores que controlam a erosão.....	8
3.4. Transporte de sedimentos.....	10
3.5. Previsão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas.....	13
3.5.1. Equação Universal de Perda de Solo - USLE .....	14
3.5.1.1. Determinação do fator <i>R</i> de erosividade das chuvas.....	15
3.5.1.2. Determinação do fator <i>K</i> de erodibilidade do solo.....	17
3.5.1.3. Determinação dos fatores topográficos <i>L</i> e <i>S</i> .....	19
3.5.1.4. Determinação do fator <i>C</i> de uso e manejo do solo .....	20
3.5.1.5. Determinação do fator <i>P</i> de prática conservacionista.....	22
3.5.2. Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE .....	23
3.5.3. Modelo de propagação de sedimentos de Williams (1975).....	24
3.6. Sistemas de Informação Geográfica aplicados à obtenção de parâmetros para a MUSLE .....	26
3.6.1. Base de dados através de técnicas de Sensoriamento Remoto.....	28
<b>4. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>30</b>
4.1. Características Fisiográficas .....	31
4.2. Características Climáticas .....	31

4.3. Características da vegetação .....	32
4.4. Características geológicas .....	33
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
5.1. Obtenção de informações cartográficas .....	35
5.1.1. Mapa de solos.....	35
5.1.2. Mapa de uso e ocupação do solo.....	36
5.1.3. Mapa das curvas de nível .....	37
5.1.4. Mapa da drenagem e das sub-bacias .....	37
5.2. Metodologia aplicada a amostragem granulométrica dos solos.....	37
5.3. Metodologia aplicada a determinação da vazão de pico e volume de escoamento .....	38
5.3.1. Vazão de pico de cheia ( $Q_p$ ).....	38
5.3.1.1. Precipitação útil ( $H_u$ ).....	39
5.3.1.2 Tempo de pico.....	42
5.4. Determinação dos fatores K, LS, C e P para a aplicação da MUSLE nas sub-bacias.....	44
5.5. Determinação do parâmetro de propagação de sedimentos de Williams (1975)	47
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
6.1. Análises granulométricas .....	49
6.2. Parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) .....	57
6.2.1. Parâmetro de propagação para a região do Planalto .....	57
6.2.2. Parâmetro de propagação para a região do Rebordo do Planalto.....	60
6.2.3. Parâmetro de propagação para a região da Depressão Central .....	62
6.3. Aplicação do modelo de Williams (1975) .....	64
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 3.1</b> - Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta, <i>C</i> .....	21
<b>TABELA 3.2</b> - Fator uso e manejo do solo, <i>C</i> , para florestas.....	21
<b>TABELA 3.3</b> - Fator uso e manejo do solo, <i>C</i> , para pastagens.....	21
<b>TABELA 3.4</b> - Valores de <i>P</i> referentes a diferentes práticas conservacionistas...	22
<b>TABELA 3.5</b> - Fator <i>P</i> de práticas conservacionistas em função da declividade para cultivos em nível.....	22
<b>TABELA 3.6</b> - Parâmetros da USLE correlacionados com a informação de base necessária e quais os procedimentos a utilizar para a conversão de dados em formato SIG.....	27
<b>TABELA 5.1</b> - Valores de <i>N</i> para bacias rurais.....	41
<b>TABELA 5.2</b> - Correspondência entre os números de escoamento de <i>N</i> para as várias condições de umedecimento do solo.....	42
<b>TABELA 5.3</b> - Teores médios de Matéria Orgânica (M.O.) em função da cobertura vegetal.....	45
<b>TABELA 6.1</b> - Resultados da granulometria dos principais tipos de solos existentes na bacia do Rio Vacacaí-Mirim.....	49
<b>TABELA 6.2</b> - Composição das sub-bacias que representam cada uma das regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.....	57



## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 6.1</b> -	Dados das sub-bacias utilizadas para o cálculo do parâmetro de propagação (B) na sub-bacia número 31.....	58
<b>QUADRO 6.2</b> -	Dados das sub-bacias utilizadas para o cálculo do parâmetro de propagação (B) na sub-bacia número 87.....	60
<b>QUADRO 6.3</b> -	Dados das sub-bacias utilizadas para o cálculo do parâmetro de propagação (B) na sub-bacia número 68.....	62
<b>QUADRO 6.4</b> -	Características do escoamento das sub-bacias em função do período de retorno.....	65
<b>QUADRO 6.5</b> -	Valores de <i>C</i> e <i>P</i> adotados nas classes de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.....	68
<b>QUADRO 6.6</b> -	Valores de <i>C</i> adotados para áreas não agrícolas na bacia do Rio Ivaí.....	68
<b>QUADRO 6.7</b> -	Produção de sedimentos por sub-bacia em função do período de retorno.....	69
<b>QUADRO 6.8</b> -	Produção anual de sedimentos propagados na bacia do Rio Vacacaí-Mirim, sem a erosão do canal principal.....	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 3.1 -</b>	Pico da concentração de sedimentos se atrasando ao pico da vazão (Carvalho,1994).....	11
<b>FIGURA 3.2 -</b>	Simultaneidade do pico da concentração de sedimentos e da vazão (Carvalho,1994).....	12
<b>FIGURA 3.3 -</b>	Pico de sedimentos se antecipando em relação ao pico da vazão (Carvalho,1994).....	12
<b>FIGURA 3.4 -</b>	Nomograma de Wischmeier para a obtenção do valor de K, fator de erodibilidade do solo, região de clima temperado (Carvalho,1994).....	18
<b>FIGURA 4.1 -</b>	Localização da bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim (Santa Maria-RS).....	30
<b>FIGURA 5.1 -</b>	Triangulo para classificação das classes texturais do solo, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SANTOS & LEMOS, 1984).....	38
<b>FIGURA 5.2 -</b>	Hidrograma triangular do SCS.....	44
<b>FIGURA 6.1 -</b>	Curva granulométrica da amostra de CAMBISSOLO.....	50
<b>FIGURA 6.2 -</b>	Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO LITÓLICO relevo ondulado.....	51
<b>FIGURA 6.3 -</b>	Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO LITÓLICO relevo montanhoso.....	52
<b>FIGURA 6.4 -</b>	Curva granulométrica da amostra de ALISSOLO.....	53
<b>FIGURA 6.5 -</b>	Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO – CAMBISSOLO - COLÚVIOS.....	54
<b>FIGURA 6.6 -</b>	Curva granulométrica da amostra de ARGISSOLO – NEOSSOLO LITÓLICO.....	55
<b>FIGURA 6.7 -</b>	Curva granulométrica da amostra de PLANOSSOLO.....	56
<b>FIGURA 6.8 -</b>	Mapa da sub-bacia número 31 com a divisão das 7 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).....	59

<b>FIGURA 6.9 -</b>	Mapa da sub-bacia número 87 com a divisão das 5 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).....	61
<b>FIGURA 6.10 -</b>	Mapa da sub-bacia número 68 com a divisão das 8 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).....	63

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1 -</b>	Mapa detalhado de solos.....	88
<b>ANEXO 2 -</b>	Mapa de uso e ocupação do solo.....	90
<b>ANEXO 3 -</b>	Mapa das curvas de nível.....	92
<b>ANEXO 4 -</b>	Mapa da drenagem e das sub-bacias.....	94
<b>ANEXO 5 -</b>	Mapa das sub-bacias numeradas.....	96
<b>ANEXO 6 -</b>	Modelo Digital do Terreno e Modelo Numérico do Terreno.....	98
<b>ANEXO 7 -</b>	Mapa das declividades (clinográfico).....	101
<b>ANEXO 8 -</b>	Mapa com a definição das regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.....	103
<b>ANEXO 9 -</b>	Tabelas dos valores ponderados utilizados em cada sub-bacia para a obtenção dos fatores da MUSLE.....	105
<b>ANEXO 10 -</b>	Cálculo da vazão de pico e do volume escoado para as sub-bacias nº 31, 68 e 87 a partir da aplicação do método do Soil Conservation Service, com período de retorno de 50 anos.....	200
<b>ANEXO 11 -</b>	Cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS para cada uma das sub-bacias da sub-bacia nº 31, considerando a mesma chuva de projeto calculada para a sub-bacia 31.....	204
<b>ANEXO 12 -</b>	Cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS para cada uma das sub-bacias da sub-bacia nº 87, considerando a mesma chuva de projeto calculada para a sub-bacia 87.....	212
<b>ANEXO 13 -</b>	Cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS para cada uma das sub-bacias da sub-bacia nº 68, considerando a mesma chuva de projeto calculada para a sub-bacia 68.....	218

## LISTA DE REDUÇÕES

<b>A<sub>1</sub>-</b>	SOLO ALUVIAL Eutrófico e Distrófico;
<b>ABAC<sub>a</sub></b>	ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alumínico;
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
<b>AMCI-</b>	Condição antecedente de umidade em que os solos estão secos. Na estação de crescimento a precipitação acumulada dos 5 dias anteriores é menor que 36mm e em outro período menor que 13mm;
<b>AMCII-</b>	Condição antecedente de umidade do solo correspondente a capacidade de campo;
<b>AMCIII</b>	Condição antecedente de umidade em que ocorreram precipitações consideráveis nos 5 dias anteriores e o solo encontra-se saturado;
<b>C</b>	CAMBISSOLO Eutrófico e Distrófico;
<b>CBERS</b>	Satélite que produz imagens da Terra;
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
<b>IDRISI</b>	Software de Sistema de Informações Geográficas;
<b>IKONOS-</b>	Satélite que produz imagens da Terra com resolução espacial de 1 m;
<b>LANDSAT</b>	Satélite que produz imagens da Terra com resolução espacial de 30 m;
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevação;
<b>MDT</b>	Modelo Digital do Terreno ou Modelo Numérico do Terreno;
<b>MUSLE</b>	Equação Universal de Perda de Solo Modificada;
<b>NBR</b>	Norma Brasileira;
<b>P</b>	ARGISSOLO Eutrófico e Distrófico;
<b>Pa-</b>	ARGISSOLO Alumínico;
<b>PVAd<sub>1</sub>-</b>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico;
<b>PVAd<sub>2</sub>-</b>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abrupto;
<b>PVEa<sub>1</sub>-</b>	ARGISSOLO VERMELHO-ESCURO Alumínico;
<b>PVEd<sub>1</sub></b>	ARGISSOLO VERMELHO-ESCURO Distrófico;
<b>RADARSAT</b>	Radar que produz imagens da Terra;
<b>Rd<sub>1</sub></b>	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico relevo ondulado;
<b>Rd<sub>2</sub></b>	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico relevo forte ondulado;

<b>Re<sub>1</sub></b>	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico relevo forte ondulado;
<b>Re<sub>2</sub></b>	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico relevo montanhoso;
<b>RGB</b>	Composição de cores de uma imagem nas cores vermelho, verde e azul (Red/Green/Blue);
<b>RUSLE</b>	Edição revisada da USLE, introduzida no software IDRISI, versão 32;
<b>S</b>	PLANOSSOLO Eutrófico e Distrófico;
<b>SAD</b>	Datum do Sul da América;
<b>SB</b>	Sub-bacias;
<b>SCS</b>	Serviço de Conservação do solo;
<b>Sd</b>	PLANOSSOLO Distrófico;
<b>SDR</b>	Taxa de condução de sedimentos;
<b>SIG</b>	Sistema de Informações Geográficas;
<b>SPOT</b>	Satélite que faz observações da Terra (Satellite Pour l'Observation de la Terre);
<b>USLE</b>	Equação Universal de Perda de Solo;
<b>UTM</b>	Sistema de coordenadas (Universal Transversor de Mercator);

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **AValiação DO PARâMETRO DE PROPAGAÇÃO DE SEDIMENTOS DO MODELO DE WILLIAMS (1975) NA BACIA DO RIO VACACAÍ-MIRIM COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Autor: Leandro Casagrande

Orientador: João Batista Dias de Paiva

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 14 de Outubro de 2004

Este trabalho teve por objetivo determinar os fatores da Equação Universal de Perda de Solos Modificada – MUSLE e do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975), avaliando a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, localizada entre as coordenadas geográficas 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitudes Sul e 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude Oeste, abrangendo uma área total de 1145,7 km<sup>2</sup>.

O modelo de Williams (1975) foi aplicado subdividindo a bacia hidrográfica em 93 sub-bacias menores, com área variando de 0,7 a 115 km<sup>2</sup>, nas quais foi feita a caracterização dos parâmetros da MUSLE. Destas, foi selecionada uma sub-bacia considerada representativa de cada uma das três regiões fisiográficas que compõe a área em estudo para a determinação do coeficiente de propagação de sedimentos de Williams. Os dados foram obtidos utilizando técnicas de geoprocessamento através da integração do mapa de solos, imagens de satélite e das cartas militares num Sistema de Informações Geográficas.

Para a obtenção hidrogramas de projeto, utilizou-se a metodologia da curva número do Soil Conservation Service e a equação de chuvas de Santa Maria desenvolvida por Belinazo e Paiva (1991). A metodologia permitiu a obtenção do parâmetro de propagação de Williams (1975) para cada uma das regiões fisiográficas da área em estudo, e a propagação de sedimentos para a bacia toda foi de 299,42 t/km<sup>2</sup>/ano

## **ABSTRACT**

M. Sc. Dissertation

Post Graduation Program on Civil Engineering

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### **ESTIMATION OF WILLIAMS (1975) SEDIMENT ROUTING MODEL TO VACACAÍ-MIRIM RIVER BASIN USING GEOPROCESSING TECHNIQS**

Author: Leandro Casagrande

Advisor: João Batista Dias de Paiva

Place and Date of Defence: Santa Maria, October, 14<sup>th</sup> of 2004

The objective of this study was to determine sediment yields in the Vacacaí-Mirim watershed which has an area of some 1150 km<sup>2</sup>, and which lies between 29°36'55" to 29°39'50"S and 53°46'30" to 53°49'29"W. Estimates were made using the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) in conjunction with the Williams (1975) sediment routing model. The catchment was divided into 93 sub-basins, with drainage areas ranging from 0.7 to 115 km<sup>2</sup>. The MUSLE parameters were determined in the 93 sub-basins; three sub-basins, representative of the three physiographic provinces in the catchment, were selected for the determination of William's routing coefficient (B). Requisite data were obtained from a combination of sources (e.g. satellite imagery; national army maps) and entered into a GIS database. The Soil Conservation Service curve number methodology and the Santa Maria rainfall equations developed by Belinazo & Paiva (1991) were used to generate hydrographs for the study area. The methodology permits the obtention of William's routing coefficient for each one of the provinces in the catchment, the sediment routing was 299,42 t/km<sup>2</sup>/year.



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da população no mundo está diretamente relacionado ao aumento no uso dos recursos naturais, sendo que ambos crescem de forma desordenada com relação à capacidade de recuperação do ambiente em que o homem está inserido. A ação antrópica desordenada tem sido fonte de grandes desequilíbrios ambientais, e a aceleração deste processo em função do aumento da população vem trazendo conseqüências muitas vezes irreversíveis com relação à disponibilidade de muitos recursos naturais.

Os danos ambientais causados pelo homem parecem crescer de forma exponencial em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, onde a conscientização da população com relação à degradação do ambiente está muitas vezes em segundo plano na lista de prioridades dos governos. Vários países sofrem pela falta de recursos naturais a muito tempo, basta observar que os recursos escassos tornaram-se objeto de negociação mundial, onde países ricos investem na preservação de recursos fora de seus limites geográficos para posterior barganha dos mesmos.

A degradação do ambiente parece ter as mesmas causas em várias partes do mundo, como os desmatamentos em áreas de preservação, queimadas empobrecendo o solo, uso inadequado do solo causando erosão, avanço descontrolado das áreas urbanas diminuindo a infiltração das águas e provocando maior escoamento superficial, lixo em locais inadequados, etc. Assim, pode-se citar uma variada lista de problemas; mas, ao que tudo indica, os recursos hídricos são a porta de escape para todos os danos supracitados.

Os problemas relacionados aos recursos hídricos, tanto nos aspectos qualitativos como quantitativos, tem parte da sua origem no tipo de exploração dos recursos das bacias hidrográficas; portanto, para uma adequada gestão dos recursos hídricos deve-se levar em conta que os processos são dinâmicos e interativos dentro de uma bacia hidrográfica, e que qualquer tipo de ação antrópica deve ser planejada de forma adequada dentro dos aspectos relacionados ao meio ambiente e as características hidrológicas das bacias.

Os cursos d'água que fazem a drenagem das chuvas, transportam consigo uma série de agentes poluentes que provém do uso da água e do solo nas bacias hidrográficas, tais como esgoto urbano, produtos químicos de indústrias, lixo seco e também sedimentos originados pela erosão e transporte do solo com a ação das chuvas.

A produção e transporte de sedimentos são processos degradantes diretamente relacionados ao uso do solo em bacias hidrográficas, que apesar de ser um processo natural ocorrido devido à ação das chuvas, tem sido acelerada de acordo com o tipo exploração exercida sobre o solo, alterando não somente a paisagem, mas também as características físicas do regime de escoamento em bacias hidrográficas.

Os processos de erosão e sedimentação trazem problemas tanto nas áreas de retirada do material, pela lixiviação da camada fértil das áreas agrícolas de onde provém boa parte dos sedimentos, como também nas áreas de deposição dos sedimentos, afetando a vida útil de obras hidráulicas e muitas vezes inviabilizando a construção das mesmas.

Considerando que o uso do solo afeta diretamente a produção e transporte de sedimentos, as áreas de agricultura devem ter controle de erosão através de práticas adequadas de conservação e de manejo do solo; entre estas práticas estão as plantações em curvas de nível, técnicas de plantio direto, construção de terraços, técnicas de caráter vegetativo, cobertura morta e qualquer outra prática que tenha por objetivo proteger o solo contra a ação das chuvas ou barrar o movimento da água sobre o solo. O desflorestamento de áreas de preservação permanente e as queimadas também promovem um impacto significativo na produção de sedimentos.

No planejamento e gestão dos recursos hídricos, o dimensionamento da produção e transporte de sedimentos é de fundamental importância para a proposição de ações sobre a paisagem das bacias hidrográficas. Portanto, os métodos de quantificação de sedimentos ou de estimativas de produção de sedimentos a partir do tipo e uso do solo tornam-se relevantes no gerenciamento de tais recursos.

A bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, objeto do presente estudo, é uma das bacias mais importantes da região de Santa Maria e a determinação dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) e a estimativa do parâmetro de propagação de sedimentos baseados no uso do solo e nas

características físicas da bacia hidrográfica, visa não somente a obtenção de dados para o planejamento de seus recursos hídricos, mas também disponibilizar argumentos para futuras pesquisas na tentativa de prever a produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

A previsão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é algo difícil de ser feito de forma precisa em função do número de fatores envolvidos neste processo e da complexidade dos mesmos, a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada - MUSLE é uma das equações mais conhecidas e estudadas no âmbito da previsão de sedimentos e tem sido melhorada em varias partes do mundo na tentativa de adequar seus parâmetros as características de cada região estudada.

## 2. OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo determinar os fatores da Equação Universal de Perda de Solos Modificada – MUSLE e o parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de WILLIAMS (1975) para a bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, avaliando a produção e transporte de sedimentos a partir dos dados de uso do solo, classificação dos solos e modelagem do terreno.

Este trabalho também visa observar a eficiência da utilização das técnicas de geoprocessamento na determinação dos fatores da MUSLE, na tentativa de estabelecer um padrão na utilização destas técnicas que apresente resultados satisfatórios quando aplicados á MUSLE.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Importância do estudo da produção, transporte e deposição de sedimentos

Segundo COIADO (2001), a degradação das bacias hidrográficas pela ação do homem, como os desmatamentos desordenados, o uso irracional do solo pela agricultura, pastoreio, obras civis, etc... associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta em quantidades de solo (sedimento) que chegam aos rios e reservatório, muito maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural.

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios, além de informar sobre as características e o estado da bacia hidrográfica, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, seja para a análise da viabilidade de utilização da água para abastecimento ou irrigação, ou para o cálculo da vida útil de reservatórios.

FILIZOLA *et al.* (2001) comentam que o transporte de sedimentos pelos rios pode afetar a qualidade da água e, conseqüentemente, a aceitação desta para diversos usos antrópicos; além da qualidade dos recursos hídricos, os problemas que provém da deposição dos sedimentos são os mais variados.

CARVALHO (1994) cita que “a erosão é o processo inicial da sedimentação, podendo-se ressaltar o seguinte”:

- A erosão nas cabeceiras dos rios provoca a destruição das nascentes;
- Aumenta o risco de desertificação;
- Em zonas agrícolas, promove a remoção da camada fértil, com o empobrecimento do solo;
- O desprendimento e escorregamento de terras e taludes podem provocar danos gerais, incluindo mortes, e, às vezes, a destruição de obras;
- Altera as condições de escoamento da água na superfície e na calha dos rios;

- Desbarrancamentos em rios modificam a calha e provocam depósitos no leito;
- A erosão nas terras devido a enxurradas produz sulcos em locais indesejáveis;
- A erosão em torno de estruturas pode provocar danos irreversíveis.

Em termos quantitativos, segundo o IAC (2003) em 1989 o Brasil perdia anualmente, 1 milhão de toneladas de solos agricultáveis; correspondendo a uma taxa de erosão inferior a 1 ton/ha/ano. Atualmente não se tem dados comparativos, mas observa-se que houve uma redução na área de expansão agrícola devido a fatores econômicos e ao fato que as técnicas de plantio mudaram muito na última década, principalmente em função da tecnologia do plantio direto

### **3.2. Conceitos de bacias hidrográficas**

Segundo a VIVATERRA (2004) a bacia hidrográfica pode ser entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. A noção de bacia hidrográfica inclui naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de águas, cursos d'água principais, afluentes, sub-afluentes, etc. Em todas as bacias hidrográficas deve existir uma hierarquização da rede hídrica e a água se escoia normalmente dos pontos mais altos para os mais baixos. O conceito de bacia hidrográfica deve incluir também noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisórias de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia.

A LEI Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, prevê no seu Artigo 1º, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A LEI Nº 10.350/1994 institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e estabelece, para os rios do estado, a formação de um comitê de gerenciamento, o Comitê de Bacia. Segundo a SEMA (2004) o estado do Rio Grande do Sul, de acordo

com a referida lei, foi dividido em Regiões Hidrográficas, que foram subdivididas em bacias hidrográficas, totalizando, até o presente momento, 23 unidades. Para cada uma destas está previsto a formação de um comitê para a gestão integrada dos seus recursos hídricos.

Considerando que a bacia hidrográfica é a unidade territorial de gestão de recursos hídricos, torna-se relevante a obtenção de dados sobre as características da produção de sedimentos dentro de uma unidade de gestão.

### **3.3. Processos erosivos**

Segundo COIADO (2001) “a erosão é um conjunto de processos, segundo os quais, o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e movido de algum lugar da superfície da terra, conseqüentemente, alterando-a localmente com diferentes taxas de mudanças. Considerando-se grandes períodos de tempo geológico pode-se dizer que estas mudanças se operam lenta e continuamente”.

Deste modo, a erosão inclui o intemperismo, o transporte e a deposição de sedimentos. Existe na natureza um quadro bastante dinâmico no qual atuam dois componentes contraditórios e complementares: as forças de infiltração responsáveis pela pedogênese e as forças denudacionais responsáveis pela morfogênese e que caracterizam os efeitos erosionais. Sob condição geológica este quadro reflete uma situação de equilíbrio.

COIADO (2001) cita ainda que a erosão natural é aquela que vem ocorrendo sob condições naturais dentro de um sistema dinâmico. A Terra, desde seus primórdios apresenta a erosão natural e a deposição de sedimentos, os quais são responsáveis pela sua modelação atual. Algumas vezes este equilíbrio é rompido com um incremento de erosão cujas taxas excedem valores esperados, para um determinado ambiente. Neste caso é então designada de erosão acelerada.

CARVALHO (1994) cita também duas formas de erosão: a geológica e a acelerada. A erosão geológica, também chamada de geomorfológica, é aquela processada normalmente, sendo também chamada de natural ou normal. A erosão acelerada, dita antrópica ou induzida pelo homem, ou dos solos agrícolas e obras, é aquela provocada pela ação humana.

COIADO (2001) cita que a erosão hídrica, determinada pela chuva e seu escoamento superficial, predomina consistindo na desagregação e remoção do solo, fragmentos e partículas de rochas. Inicialmente o processo erosivo se manifesta no solo, através do impacto das gotas da água da chuva, desagregando as partículas, onde os filetes de água tem força suficiente para arrastar as partículas que foram soltas. Os filetes de água ao escorrerem encosta abaixo podem provocar simplesmente a lavagem da superfície do solo, dos terrenos arados, ou provocar a remoção das camadas delgadas do solo. Esse processo é designado *escoamento laminar* ou *erosão laminar*. Quando as chuvas são mais intensas e são favorecidas por parâmetros de natureza natural e antrópica a erosão pode se desenvolver por *escoamento concentrado* ou *linear*, formando sulcos na superfície do terreno; estes sulcos podem evoluir para *ravinas* até atingir a configuração de *boçorocas*.

### **3.3.1. Fatores que controlam a erosão**

Segundo COIADO (2001) “a erosão linear concentrada envolve um grande número de variáveis e torna-se difícil definir quais delas são responsáveis pela suplantação de limites críticos. Na sua evolução, as causas são multivariadas e independentes”. Os parâmetros mais importantes que controlam a erosão acelerada são: A morfometria das vertentes; propriedades intrínsecas dos solos; dados de precipitação e uso da terra.

Morfometria das vertentes – As vertentes e as formas do relevo podem ser caracterizadas por uma série de índices morfométricos obtidos a partir de uma carta topográfica e que são indispensáveis na avaliação dos processos erosivos. Os índices morfométricos mais comuns são: a altitude, a amplitude, o comprimento de rampa e a declividade.

Comportamento dos solos – A maior ou menor facilidade com que as partículas são destacadas e transportadas refletem a aptidão de uma determinada cobertura pedológica para resistir aos esforços ocasionados pelos agentes erosivos. Desta forma, 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.



As areias são tidas como a fração granulométrica com maiores índices de erodibilidade e as argilas são mais difíceis de serem removidas principalmente quando se apresentam em agregados.

Precipitação – Os efeitos provocados no solo por uma chuva forte são bem diferentes dos efeitos de uma chuva com a mesma quantidade de água, porém com duração mais prolongada. As chuvas mais fracas e prolongadas contribuem para uma maior infiltração da água, alimentando o lençol subterrâneo. Por outro lado, em regiões tropicais, a intensidade das chuvas costuma ultrapassar 150 mm/h. Estas precipitações torrenciais durante o período chuvoso com taxas de escoamento extremamente elevadas constituem uma forma mais agressiva de impacto da água no solo.

Uso da terra – O efeito do uso da terra sobre os solos pode se dar de acordo com a porcentagem da cobertura vegetal. Em áreas com alta densidade de cobertura vegetal, o runoff (escoamento superficial) e a erosão ocorrem em taxas especialmente baixas, particularmente se houver uma cobertura de serrapilheira, que é constituída da camada de folhas e galhos cobrindo o solo (EVANS, 1980).

Conforme GUERRA & CUNHA (1994), no caso de se ter uma cobertura vegetal abundante, os processos erosivos dependem de vários fatores como: efeitos espaciais da cobertura vegetal, efeitos da energia cinética da chuva, importância da vegetação na formação de húmus e teor de agregados.

Uma tentativa de avaliar a potencialidade do desenvolvimento da erosão acelerada a partir de diversos usos da terra foi realizada por PONTES (1977) propondo uma escala de 0 a 1. O valor maior representaria a situação de equilíbrio máximo e menos perda de solo. Partindo de uma floresta natural como exemplo de equilíbrio máximo e fazendo relações para diferentes formas de uso da terra, PONTES (1977) caracteriza quatro situações:

- a) Floresta natural → Reflorestamento (índice 0,90);
- b) Floresta natural → Pastagem (índice 0,45);
- c) Floresta natural → Agricultura (índice 0,22);
- d) Floresta natural → Estradas e cidades (índice 0,15).

Neste caso, um reflorestamento apresenta índice muito próximo a floresta natural (índice 0,9), já as estradas e cidades representam índices bastante distantes (0,15) na escala considerada.

### **3.4. Transporte de sedimentos**

Conforme descrito por CARVALHO (1994), os sedimentos que chegam ao curso d'água tem diversas granulometrias e sofrerão um processo de transporte variado de acordo com as condições locais do escoamento. As forças que atuarão sobre a partícula podem mantê-la em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito. Essa situação é função do tamanho da partícula, do peso e forma. É também função da forma do escoamento, se laminar ou turbulento, da velocidade da corrente, dos obstáculos no leito e de diversas outras funções que estão inter-relacionadas, como declividade do leito, forma do canal, temperatura da água e outras.

Segundo HERRERO (1974), há três modos de transporte de sedimentos, que dependem do tamanho das partículas e da capacidade de transporte da corrente: rolamento sobre a superfície do leito (arraste), elevação para dentro do escoamento e posterior retorno à superfície do leito (saltação), suspensão e suporte pelo fluido envolvente durante todo o transporte (suspensão). CARVALHO (1994) classifica as formas de transporte de sedimentos como:

**Carga Sólida de Arrasto** – São as partículas de sedimento que rolam ou escorrem longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo.

**Carga Sólida Saltante** – São as partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode ser devido ao impacto de uma na outra, o rolamento de uma por cima da outra ou o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim uma pressão negativa.

**Carga Sólida em Suspensão** – são as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo

pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito.

As chuvas que desagregam os solos e as enxurradas que os transportam para os cursos d'água são os maiores responsáveis pelo transporte de sedimentos. A quantidade de sedimentos que é transportada no curso d'água forma uma onda que acompanha a onda de enchente de três formas diferentes, conforme as figuras 3.1, 3.2 e 3.3 abaixo. A mais comum é o pico de sedimentos se antecipar ao pico de enchente.

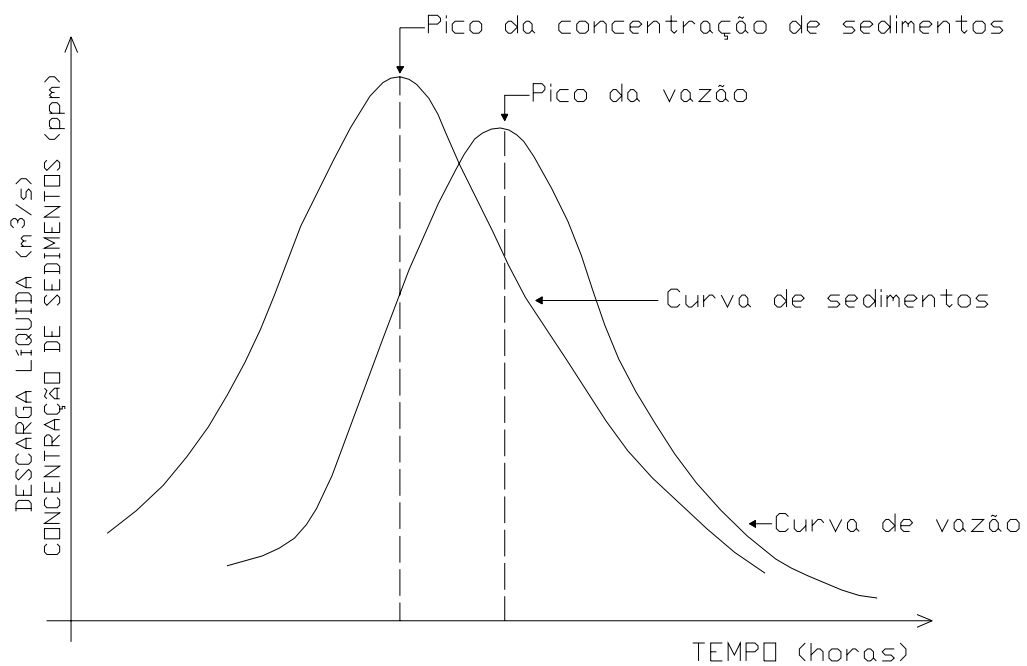


FIGURA 3.1 – Pico da concentração de sedimentos atrasado ao pico da vazão (CARVALHO,1994).

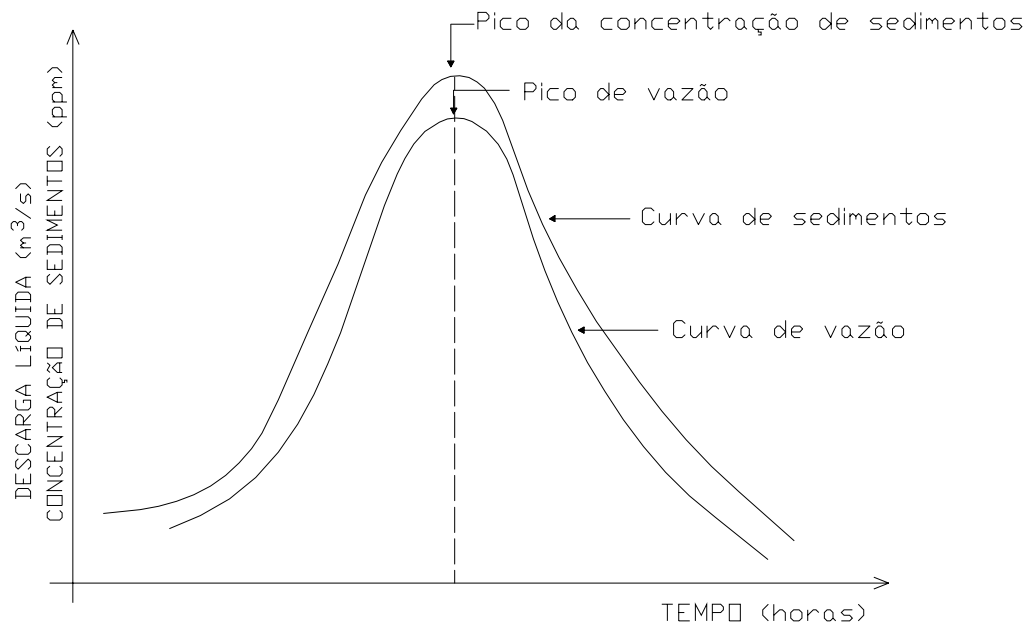


FIGURA 3.2 – Simultaneidade do pico da concentração de sedimentos e da vazão (CARVALHO,1994).

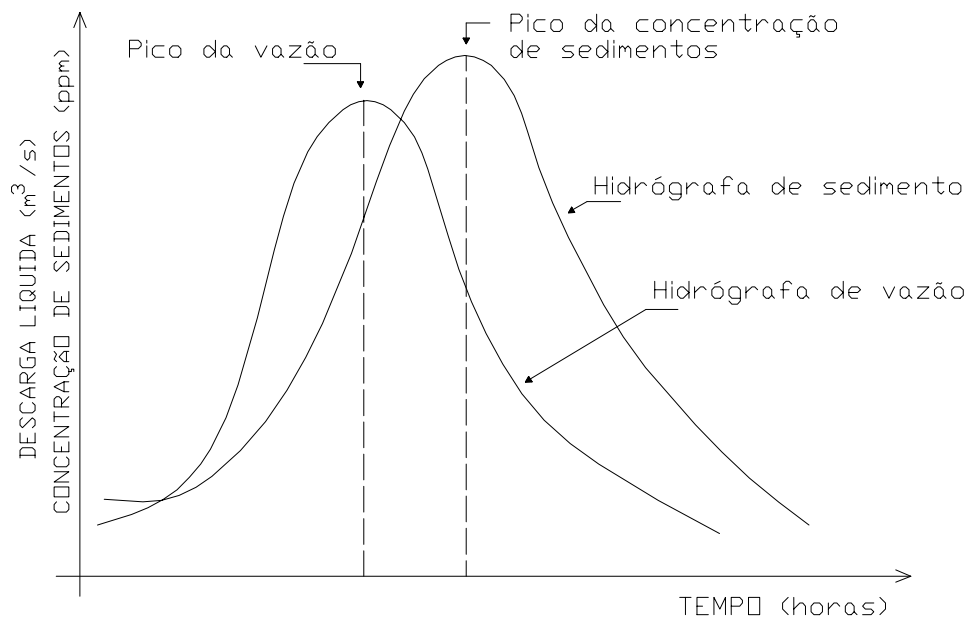


FIGURA 3.3 – Pico de sedimentos antecipado em relação ao pico da vazão (CARVALHO,1994).

### **3.5. Previsão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas**

De acordo com BORDAS & SEMMELMANN (2000) “expressar a descarga sólida produzida por uma bacia em função das características físicas da mesma é uma via ainda pouco explorada, se comparada com outros métodos existentes para avaliar a descarga de sedimentos”. Trata-se de uma metodologia complexa, da qual não se pode esperar resultados muito precisos.

A pouco tempo utilizavam-se métodos que foram desenvolvidos por estimativas de perdas por erosão, para expressar essa produção, principalmente a Equação Universal de Perda de Solo – USLE, (WISCHMEIER E SMITH, 1978) associada ao emprego de uma taxa de transferência (Sediment Delivery Ratio – SDR) que traduz a diminuição da produção bruta que pode ser estimada pela USLE em decorrência dos depósitos ocorridos na bacia. Tanto a equação como a taxa de transferência (SDR) resultam de expressões empíricas, ainda limitadas no seu uso pelo fato de considerar somente a produção anual de sedimentos.

BORDAS & SEMMELMANN (2000) citam ainda, que processos importantes têm sido registrados a partir do advento da simulação matemática, do sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas (GIS). Atualmente existe uma expressão relativamente simples para expressar a produção de sedimentos associados a chuvas isoladas; trata-se de Equação Modificada de Perdas de Solo – MUSLE, sugerida por WILLIAMS (1975).

PAIVA (2001), diz que os modelos de previsão podem se classificar quanto à estrutura em empíricos e conceituais. Os modelos empíricos utilizam relações empíricas simples, com interesse em estudos preliminares e estimativas grosseiras, tentando relacionar a concentração e vazão, não podendo prever sempre a variação da qualidade das águas superficiais e o impacto das mudanças das práticas agrícolas na qualidade das águas. Já, os modelos conceituais equacionam os processos de transformação e o transporte de poluentes na bacia vertente. As equações são de derivadas parciais, por representar o escoamento da água e o transporte de poluentes associado.

### 3.5.1. Equação Universal de Perda de Solo - USLE

A equação universal de perda de solo é um modelo paramétrico para a avaliação da erosão, conhecida como USLE (*Universal Soil Loss Equation*), foi desenvolvida, primeiramente, por WISCHMEIER E SMITH (1978) e depois melhorada nos seus parâmetros por outros pesquisadores. É a fórmula mais empregada para cálculo da erosão em termos médios anuais. Corresponde ao produto de parâmetros básicos, considerando fatores ativos e passivos. Foi estabelecida com base nos dados estudados em mais de 10.000 lotes, com distintas características de clima, solo, relevo e cultivo, de dimensões reduzidas e, portanto, submetidos exclusivamente, a processos de erosão hídrica superficial do tipo laminar. A USLE tem a seguinte forma:

$$Y = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (3.1)$$

onde:

$Y$  = perda de solo por unidade de área e tempo, em t/ha/ano, ou outra unidade dependendo das que forem usadas nos diversos parâmetros;

$R$  = fator de erosividade da chuva, que expressa a erosão potencial, ou poder erosivo da precipitação média anual da região, em t.m/ha.mm/hora;

$K$  = fator de erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva, em t/ha/(t.m/ha.mm/hora);

$L$  = fator topográfico que expressa o comprimento do declive;

$S$  = fator topográfico que expressa a declividade do terreno ou grau do declive;

$C$  = fator que expressa o uso e manejo do solo e cultura;

$P$  = fator que expressa a prática conservacionista do solo.

A equação universal de perdas de solo pode ser usada para:

- Prever as perdas de solo por erosão;
- Selecionar práticas de conservação de solo de tal forma que sejam mantidas as perdas dentro dos limites aceitáveis;
- Determinar os declives máximos que podem ser cultivados sob determinados manejos e tipos de solo;
- Estudos e pesquisas.

Os fatores da USLE devem ser determinados adequadamente, para que seja obtido um bom resultado do valor da erosão.

BRANCO (1998) cita que a USLE superestima a produção de sedimentos, uma vez que fornece a produção bruta de sedimentos, que é a erosão total ocorrida no solo ou o sedimento disponível a ser transportado pelo escoamento superficial. Em vista disso, na aplicação desta equação em bacias hidrográficas, leve-se em consideração o conceito de taxa de condução de sedimentos (*Sediment Delivery Ratio – SDR*), definida pela relação entre a produção efetiva de sedimentos caracterizada pelos sedimentos produzidos pela erosão que chegam até a seção de referência da bacia.

### 3.5.1.1. Determinação do fator *R* de erosividade das chuvas

Esse parâmetro é o índice de erosão pluvial; expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção, sendo também conhecido como “índice de Wischmeier”. É definido como o produto da energia cinética de uma chuva pela sua máxima intensidade em 30 minutos. Para sua determinação, é necessária a obtenção, no pluviograma, gráfico de registro pluviográfico, da intensidade da chuva, para qual se quer determinar sua erosividade, e o valor da energia cinética das chuvas. Para a determinação de valores máximos de erosão, é necessária a obtenção dos diagramas do maior número possível de anos de observação, no posto pluviográfico da região, para pesquisa das precipitações máximas. A soma dos produtos *E.I.*, para um certo ano, é um índice da erosividade de todas as precipitações de todo o ano. A média desse produto, de vários anos de observação, permite o cálculo da erosividade *R* média anual. Para climas temperados se utiliza o índice de erosão  $E_c I_{30}$ , isto é:

$$R = E_c I_{30} = \sum (E_c \cdot I_{30}) \quad (3.2)$$

sendo:

$$E_c = 12,142 + 8,877 \cdot \log I \quad (3.3)$$

onde:

$E_c I_{30}$  = índice de erosão, em t.m/ha x mm/h;

$E_c$  = energia cinética da chuva, t.m/ha x mm;

$I$  = intensidade de chuva do intervalo considerado, em mm/h;

$I_{30}$  = máxima intensidade da chuva em 30 minutos, em mm/h.

Conforme CARVALHO (1994), a energia cinética de uma chuva é o resultado da soma da energia cinética de todos os intervalos dessa tormenta. O valor da soma dos produtos  $E_c \times I_{30}$  para uma determinada chuva representa a erosividade dessa chuva, enquanto que a soma dos produtos em um ano representa o valor anual. O valor **R** é igual à média dos valores de uma série de somas anuais dos produtos  $E_c \times I_{30}$ , considerado por Wischmeier para um período de 22 anos. Calcula-se o  $E_c I_{30}$  de cada chuva obtendo-se a soma total anual e, em seguida, o valor médio anual, o qual representa a erosividade local da chuva, considerando como o fator **R**. Os valores de  $E_c$  podem ser calculados em t.m/ha x mm. As chuvas menores que 10 mm podem ser desprezadas por não causarem erosão mensurável. As chuvas com diferença de até 6 horas de ocorrência são consideradas como uma só. Considerando que o valor de  $I_{30}$  é expresso em mm/h, o valor da chuva máxima de 30 minutos ( $I_{30}$ ) deve ser multiplicado por 2 (2 x 30 minutos = 1 hora).

Para climas tropicais, CARVALHO (1994) recomenda a utilização do índice de erosão  $K_{Ec} > 25$ , isto é;

$$R = K_{Ec} > 25 = \sum (E_c \cdot P(I > 25)) \quad (3.4)$$

$P(I > 25)$  – precipitação para intensidades maiores do que 25mm/h.

Para o cálculo desse índice, desprezam-se as precipitações com intensidades menores que 25 mm e não se usa a intensidade média em 30 minutos, facilitando o cálculo.

Devido à dificuldade de se obter pluviogramas, existem relações que permitem o uso dos valores de precipitação mensal e anual, tal como a que foi obtida por LOMBARDI NETO E MOLDENHAUER (1992), para a região de Campinas, SP:

$$E_c I = 6,886 \cdot (P_m^2 / P)^{0,85} \quad (3.5)$$

sendo:

$E_c I$  = media mensal do índice de erosão;

$P_m$  = precipitação média mensal;

$P$  = precipitação média anual.



O fator **R** pode ser mapeado por isolóneas para uma determinada região, sendo de muita utilidade e muito usual. As linhas representam a mesma erosividade ou linhas isoerodentes, indicando que cada local tem um fator médio de erosividade fixo, ou pouco variável. É um traçado semelhante ao que se faz para isoietas, isto é, obtêm-se os valores de **R** para os locais onde há pluviógrafos; anotando-se esses valores no mapa da região; interpolam-se pontos de medidas inteiras e, em seguida, ligam-se os pontos de mesmo valor de **R**. São feitos mapas para valores médios anuais. Os valores de **R** expresso em  $t.m/ha \times mm/h$  variam de fraco a muito forte, conforme a seguinte escala:

- R < 250 – erosividade fraca;
- 250 < R < 500 – erosividade moderada;
- 500 < R < 750 – erosividade moderada a forte;
- 750 < R < 1000 – erosividade forte;
- R > 1000 – erosividade muito forte;

### **3.5.1.2. Determinação do fator *K* de erodibilidade do solo**

Esse fator de erodibilidade do solo é igual à intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais. Representa a susceptibilidade do solo à erosão, sendo a recíproca da sua resistência a erosão. Esse fator está relacionado às propriedades físicas e químicas do solo, representando o grau de erosão de diferentes tipos de solo quando submetidos às mesmas condições de chuva, declive, manejo e práticas conservacionistas.

A determinação de **K** pode ser feita experimentalmente, desde que se possa recolher o material erodido em tanques coletores de enxurrada e proveniente de área isolada conhecida, usando-se declives de 9% e comprimento de rampa de 25 m, sendo as áreas preparadas no sentido do aclave e sem cobertura vegetal consideradas como uma “parcela unitária”. Quando essas condições são encontradas, os valores de **L**, **S**, **P** e **C** são unitários. O valor **A** pode ser determinado pela obtenção do material erodido e coletado nos tanques. O seu valor é igual à perda do solo **A** por unidade de índice de erosão da chuva  $E_{cJ30}$ .

Uma determinação gráfica do fator **K** é feita pelo nomograma de Wischmeier (Figura 3.4), estudado para as seguintes características de solo: granulometria do material da superfície, porcentagem de matéria orgânica (% M.O.), estrutura e permeabilidade do perfil. Esse nomograma é próprio para clima temperado, podendo ser usado em clima tropical com algumas adaptações com relação aos teores de matéria orgânica do solo.

Existem tabelas que apresentam o valor de **K** para os diversos agrupamentos de solos de uma determinada região. Os valores de **K** expressos em  $t/ha/(t.m/ha \times mm/h)$  variam de fraco a elevado, segundo a seguinte escala (CARVALHO 1994):

- $K < 0,15$  – erodibilidade fraca;
- $0,15 < K < 0,30$  – erodibilidade média;
- $K > 0,30$  – erodibilidade elevada.

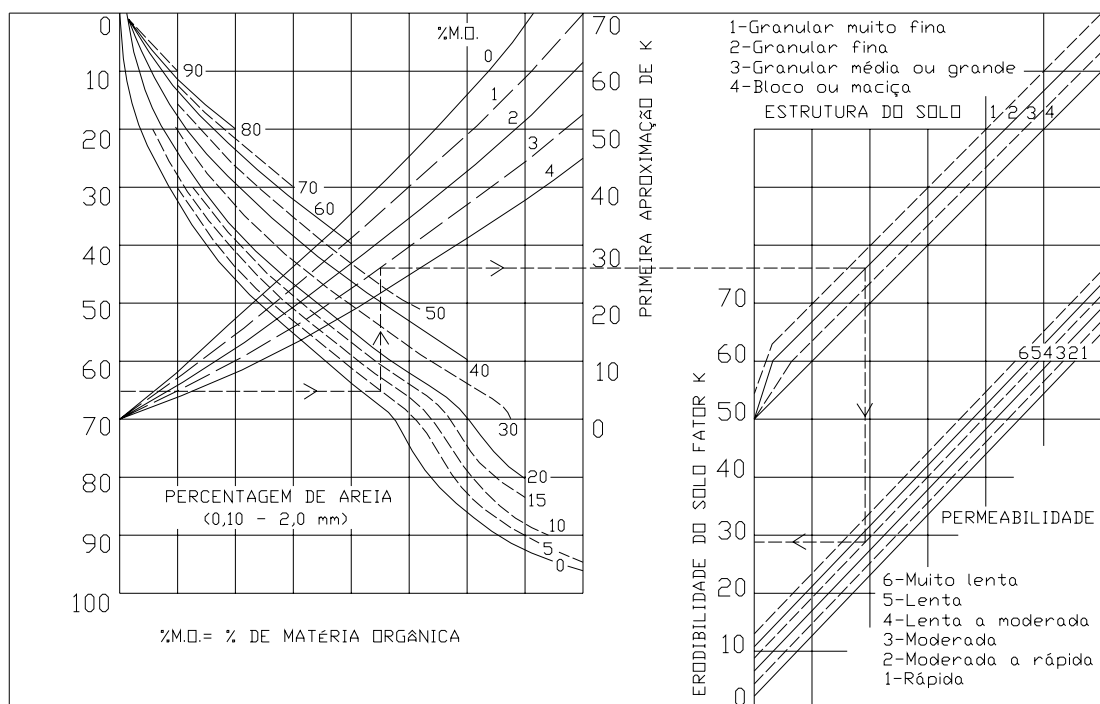


FIGURA 3.4 - Nomograma de Wischmeier para a obtenção do valor de K, fator de erodibilidade do solo, região de clima temperado (CARVALHO,1994).

PAIVA (2001) cita que o fator **K**, representa as propriedades inerentes ao solo que afetam a maior ou menor facilidade a erosão, que estão relacionadas com a velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento, resistência

às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento, sendo expresso em t/ha/Mj/ha x mm/h pela equação de WISCHMEIER E SMITH (1978) descrita a seguir;

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - Ka) + 3,25 \cdot (Kb - 2) + 2,5 \cdot (Kc - 3)] \cdot 0,001313 \quad (3.6)$$

onde:

M = (% silte + % areia muito fina) . (100 - % argila);

Ka = % de matéria orgânica;

Kb = coeficiente relativo à estrutura do solo;

Kc = classe de permeabilidade.

### 3.5.1.3. Determinação dos fatores topográficos *L* e *S*

O fator conjunto de comprimento e grau de declive - *LS*, conforme citado por PAIVA (2001), “é a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 22 m de comprimento e 9% de declive”. Pode ser obtido pela equação (Wischmeier e Smith, 1978):

$$LS = (L/22,1)^m \cdot (0,065 + 0,0454 \cdot S + 0,0065 \cdot S^2) \quad (3.7)$$

onde:

$m = 0,2$  para  $S < 1\%$ ;  $m = 0,3$  para  $3\% > S > 1\%$ ;  $m = 0,4$  para  $5\% > S > 3\%$ ;  $m = 0,5$  para  $S > 5\%$ ;

*S* = declividade da encosta em %;

*L* = comprimento da encosta em metros.

LENCASTRE & FRANCO (1984) comentam que “o fator *L* traduz a influencia da distância entre o início do escoamento superficial e a mudança de inclinação do terreno, ou outra causa de interrupção do escoamento da lâmina de água superficial, medida segundo o máximo declive”. O fator *S*, igual à relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa. Sendo o fator *LS* considerado um fator sem unidades.

### 3.5.1.4. Determinação do fator $C$ de uso e manejo do solo

Segundo PAIVA (2001), o fator  $C$  de uso e manejo do solo, é uma relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Assim, uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou então em rotação com outras. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície, incorporados próximos à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. Quando deixados na superfície podem ser cortados ou mantidos como foram colhidos. Além disso, é função das chuvas erosivas que ocorrem durante o período correspondente à cultura e prática de manejo utilizada.

O valor médio de  $C$  pode ser calculado pela expressão:

$$C = \sum c_i \cdot R_i \quad (3.8)$$

onde:

$c_i$  = fator para a prática conservacionista considerada;

$R_i$  = proporção do fator energético da chuva, correspondente ao período do ano em que é aplicado o coeficiente  $C_i$ .

BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) indicam que para fins práticos, o ano agrícola foi dividido em cinco períodos ou estágios da cultura, definidos de tal modo que os efeitos da cultura e manejo possam ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, como segue:

- Período 0 – preparo do solo;
- Período 1 – plantio: do plantio a um mês após o plantio;
- Período 2 – estabelecimento: do fim do período 1 até dois meses após o plantio;
- Período 3 – crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita;
- Período 4 – resíduo: da colheita até o preparo do solo.

As intensidades de perdas de solo são calculadas para cada estágio e cada cultura. As tabelas 3.1; 3.2; e 3.3 apresentam valores do fator de uso e manejo do solo,  $C$ .

TABELA 3.1 – Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta, *C*.

Cobertura, seqüência e manejo	Produti- vidade	C% no período de estágio da cultura				
		D	1	2	3	4
Milho, contínuo, palha queimada	Média	37	30	21	6	1
Milho, contínuo, palha enterrada	Média	23	19	17	4	2
Milho, contínuo, palha superfície	Média	-	5	2	1	1
Algodão, contínuo, convencional	Média	40	60	40	50	20
Soja, contínuo, convencional	Média	35	30	20	20	5
Pasto, 1º ano, rotação	-	-	-	40	-	-
Pasto, 2º ano, rotação	-	-	-	0,4	-	-
Milho, rotação após pasto	Média	10	11	8	4	1
Milho, rotação plantio direto após pasto	Média	-	8	5	3	1
Soja, rotação após milho	Média	15	12	20	4	3
Soja, rotação, plantio direto após milho	Média	-	8	10	4	3
Algodão, rotação após soja	Média	20	20	30	15	13
Cana de açúcar, 1º ano, convencional	Média	-	-	15	-	-
Cana de açúcar, 2º ano	Média	-	-	0,15	-	-

FONTE: BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985.

TABELA 3.2 – Fator uso e manejo do solo, *C*, para florestas.

Copas das árvores (% de área)	% área com manta morta de mais de 5 cm	Solo coberto	<i>C</i>
100 – 75	100 – 90	Moderadamente pastado e queimado	0,001
		Intensamente pastado e queimado	0,003 – 0,011
70 – 40	80 – 75	Moderadamente pastado e queimado	0,002 – 0,004
		Intensamente pastado e queimado	0,01 – 0,04
35 – 20	70 – 40	Moderadamente pastado e queimado	0,003 – 0,009
		Intensamente pastado e queimado	0,02 – 0,09

FONTE: LENCASTRE E FRANCO, 1984.

TABELA 3.3 – Fator uso e manejo do solo, *C*, para pastagens.

Tipo de cobertura	% área coberta	Cobertura (*)	% de solo revestido					
			0	20	40	60	80	95 – 100
Sem cobertura apreciável		E	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
		L	0,45	0,24	0,15	0,090	0,043	0,011
Coberto de ervas altas ou mato rasteiro (média de 0,5 m)	25	E	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
		L	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
	50	E	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		L	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
	75	E	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
		L	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
Mato denso (média de 2 m)	25	E	0,40	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		L	0,40	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	50	E	0,34	0,16	0,085	0,038	0,012	0,003
		L	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	75	E	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		L	0,28	0,17	0,12	0,077	0,040	0,011
Árvores com pouco mato rasteiro (média de 4 m)	25	E	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		L	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	E	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		L	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	75	E	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
		L	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011

E: revestimento de ervas ou manta morta com pelo menos 5 cm de espessura; L: revestimento de plantas herbáceas de folha larga. FONTE: LENCASTRE E FRANCO, 1984.

### 3.5.1.5. Determinação do fator *P* de prática conservacionista

Segundo CARVALHO (1994), esse fator expressa a maneira que a cultura foi feita no terreno. A tabela 3.4 mostra os valores de **P** para as principais práticas conservacionistas.

TABELA 3.4 – Valores de P referentes a diferentes práticas conservacionistas.

<b>Práticas conservacionistas</b>	<b>Valor de P</b>
<i>Plantio morro abaixo</i>	<i>1,0</i>
<i>Plantio em contorno</i>	<i>0,5</i>
<i>Alternância de capinas + plantio em contorno</i>	<i>0,4</i>
<i>Cordões de vegetação permanente</i>	<i>0,2</i>
<i>Terraço</i>	<i>0,1</i>

FONTE: BERTONI E LOMBARDI NETO (1985).

Esse fator **P** de prática conservacionista corresponde à relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, mantendo-se as condições-padrão de relevo e de uso e manejo. A tabela referida atende às práticas conservacionistas mais comuns para culturas anuais (plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas). O fator P pode ser tabelado em função das declividades, uma vez que a eficiência das práticas de controle de erosão depende dessa declividade. Os valores de P adotados para o cultivo em nível, sem outras proteções mecânicas do solo, estão apresentados na tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Fator P de práticas conservacionistas em função da declividade para cultivos em nível.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Valor de P</b>
<i>0 – 2</i>	<i>0,60</i>
<i>2 – 7</i>	<i>0,50</i>
<i>7 – 12</i>	<i>0,60</i>
<i>12 – 18</i>	<i>0,80</i>
<i>18 - 24</i>	<i>0,90</i>

FONTE: CARVALHO, 1994.

BERTONI E LOMBARDI NETO (1985) comentam que para áreas terraceadas, o comprimento do declive a usar na determinação do valor **LS** na

equação é o intervalo do terraço. O valor de **P** para área terraceada, portanto, deverá ser o mesmo do plantio em contorno, uma vez que, reduzindo o comprimento do declive, reduzem-se às perdas de solo na potência de 1,63 do comprimento.

### 3.5.2. Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE

PAIVA (2001) comenta que “a MUSLE é um modelo de previsão da produção de sedimento, aplicável a eventos de chuvas individuais. É uma modificação da equação universal de perda de solo através da substituição do fator de energia da chuva por um fator de escoamento”.

No cálculo da produção de sedimento de uma bacia para eventos isolados; a MUSLE faz uma modificação do fator de chuva da equação universal de perda de solo, com a finalidade de prever a deposição. Quando a deposição ocorre, a produção de sedimento é altamente correlacionada com as características do escoamento, uma vez que o escoamento controla a capacidade de transporte de sedimento, que é relacionada a carga de sedimento.

A equação universal de perdas de solo modificada (MUSLE), sugerida por WILLIAMS (1975), tem a seguinte forma:

$$Y = \alpha \cdot (Q_s \cdot q_p)^\beta \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (3.9)$$

onde:

Y = produção de sedimento para uma chuva individual, em toneladas;

$Q_s$  = volume de escoamento superficial ( $m^3$ );

$q_p$  = vazão de pico do escoamento superficial, em  $m^3/s$ ;

$\alpha$  e  $\beta$  = coeficientes calibrados para a bacia em estudo;

K, LS, C, P = fatores da USLE descritos anteriormente.

Na região em que os autores desenvolveram a fórmula (Estados do Texas e Nebraska – USA), os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  valem 95 e 0,56; respectivamente, no sistema de unidades americano; para o sistema internacional, PAIVA (2001) cita 89,6 e 0,56 respectivamente.

Esta equação foi testada em bacias variando de 0,01 a 234  $Km^2$  e declividades variando de 1 a 30%. Utilizando dados de escoamento médio, sendo avaliada a produção de sedimentos para eventos de chuva individuais. Também foi

testada em bacias variando de 0,7 a 513 Km<sup>2</sup>, juntamente com modelos de escoamento, sendo avaliada a produção de sedimento mensal e anual.

### 3.5.3. Modelo de propagação de sedimentos de Williams (1975)

Como já visto anteriormente, a produção de sedimentos depende de uma série de fatores relacionados às características climáticas, topológicas, edáficas e de uso do solo. Estes fatores variam consideravelmente e geralmente não tem distribuição uniforme dentro de bacias hidrográficas.

WILLIAMS (1975) propôs um modelo de propagação de sedimentos em bacias hidrográficas, que consiste em dividir a bacia em **n** sub-bacias representativas, nas quais estima-se a quantidade de sedimento produzido, por uma chuva isolada, através da Equação Universal de Perda de Solos Modificada – MUSLE.

O total de sedimentos produzidos pela bacia inteira é o somatório das frações do total de sedimentos produzidos pelas **n** sub-bacias propagadas até o exutório da bacia; essa propagação considera uma taxa de perdas que ocorre no percurso entre cada sub-bacia e o exutório, devido à deposição de sedimentos.

Conforme WILLIAMS (1975), a taxa de perdas depende do tamanho e velocidade de transito da partícula, da quantidade de partículas em suspensão e do comprimento e tempo de percurso; podendo ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$\frac{dy}{dt} = -B \cdot Y \cdot \sqrt{D} \quad (3.10)$$

onde:

$dy/dt$  = taxa de perdas no tempo **t**;

**Y** = sedimento produzido em dada seção da bacia;

**t** = tempo (horas);

**B** = coeficiente de propagação;

**D** = diâmetro da partícula (mm).

Integrando a equação 3.10 e resolvendo em **Y**, segue:

$$Y = Y_0 \cdot e^{-B \cdot T \cdot \sqrt{D}} \quad (3.11)$$

onde:



Y = sedimento produzido numa dada seção da bacia (ton);

Y<sub>0</sub> = sedimento produzido numa seção a montante (ton);

T = tempo de percurso entre as duas seções (horas);

B = coeficiente de propagação;

D = diâmetro da partícula (mm).

e = base do logaritmo neperiano.

Para determinar o total de sedimentos propagado até o exutório da bacia inteira, as contribuições de cada sub-bacia são somadas através da equação:

$$RY = \sum_{i=1}^n Y_i \cdot e^{-B \cdot T_i \cdot \sqrt{D_{50m}}} \quad (3.12)$$

onde:

RY = sedimento produzido na bacia inteira (ton);

Y<sub>i</sub> = sedimento produzido na sub-bacia (ton);

B = coeficiente de propagação;

T<sub>i</sub> = tempo de percurso entre a sub-bacia **i** e o exutório da bacia (horas);

D<sub>50m</sub> = diâmetro médio da partícula de sedimento da sub-bacia **i** (mm);

n = número de sub-bacias.

A determinação do coeficiente B para uma chuva individual em uma bacia particular assume distribuições uniformes dos parâmetros K, LS, C, P e D<sub>50</sub>. Desta forma, Y calculado pela equação 3.9 é igual à RY calculado através da equação 3.12.

$$89,6 \cdot (Q_s \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P = 89,6 \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{s_i} \cdot q_{p_i})^{0,56} \cdot K_i \cdot LS_i \cdot C_i \cdot P_i \cdot e^{-B \cdot T_i \cdot \sqrt{D_{50i}}} \quad (3.13)$$

Se os valores de K, LS, C, e P forem semelhantes para todas as bacias, eles cancelam-se na equação 3.13, resultando numa equação para determinação de **B**:

$$(Q_s \cdot q_p)^{0,56} = \sum_{i=1}^n (Q_{s_i} \cdot q_{p_i})^{0,56} \cdot e^{-B \cdot T_i \cdot \sqrt{D_{50m}}} \quad (3.14)$$

onde:

D<sub>50m</sub> = é o valor médio de D<sub>50</sub>.

WILLIAMS (1975) cita que o valor constante de D<sub>50m</sub> é usado para determinar o coeficiente de propagação **B**, para todas as sub-bacias em que **B** é

função somente das características hidráulicas da mesma. Assim, duas bacias com características hidráulicas similares vão ter valores de **B** similares. O  $D_{50_m}$  foi selecionado como o mínimo valor de  $D_{50}$  para assegurar uma descarga de sedimentos real na escala dos valores de  $D_{50}$ .

A equação 3.14 expressa a taxa de escoamento por tempo de percurso com as duas constantes **B** e  $D_{50_m}$ ; desta forma, **B** pode ser determinado com a solução interativa da equação 3.14.

Determinando o valor de **B**, a produção de sedimentos para a bacia pode ser estimada com a equação 3.12, usando os valores de **K**, **LS**, **C**, **P** e  $D_{50}$  para cada sub-bacia.

### **3.6. Sistemas de Informação Geográfica aplicados à obtenção de parâmetros para a MUSLE**

A utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para simular, modelar e resolver problemas ligados à agricultura é uma prática cada vez mais comum em nível acadêmico. Muitos trabalhos objetivam a aplicação, em SIG, de modelos ligados ao meio ambiente e da conservação de solos.

Na hidrologia, muitos modelos são geralmente baseados em dados de natureza espacial. Os fatores da MUSLE, são relacionados com os dados relativos a ocorrências sobre a superfície terrestre, como a distribuição da pluviosidade, cobertura vegetal, uso e práticas de conservação do solo e a própria configuração do relevo, é exemplo disso.

BACELLAR (1994), utilizou a USLE e a MUSLE para analisar o potencial de erosão na bacia do Ribeirão Cachoeirinha e determinar os pontos críticos de perda de solo que causam assoreamento na represa que abastece o município de Iracemápolis – SP; utilizando SIG como ferramenta para base das informações.

Um Sistema de Informação Geográfica é constituído por uma tecnologia de gestão de bases de dados para armazenamento e consulta de dados e funcionalidades de análise, visualização e comunicação de informação geográfica.

De uma forma geral, através desses sistemas, os diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre podem ser objeto de representação e análise.

Recentemente, segundo EASTMAN (2003) as novas implementações nos recursos de geo-análise do SIG – IDRISI (verão KILIMANJARO), apresentam a versão revisada da USLE, chamada de RUSLE, desenvolvida pelo Departamento Norte Americano de Agricultura que usa a RUSLE como base na medição da perda anual de solo através erosão das encostas e vales. Sua larga utilização é reflexo da pequena quantidade de dados demandada na análise, aliado a sua precisão em estimar a média de longo prazo da erosão em campos relativamente homogêneos. Em várias partes do mundo o advento de MDE (modelo digital de elevação) generalizados, melhorados e mais baratos, executado através de softwares que processam técnicas fotogramétricas e sinais de radar SAR, juntamente com cobertura precisa dos terrenos mapeados usando o sensoriamento remoto, oferece grande melhoria na previsão da erosão. Nos locais onde existem dados confiáveis para as variáveis da RUSLE, o módulo permite grande precisão e consistência nas imagens geradas em relação aos outros métodos. A tabela 3.6 apresenta os parâmetros da USLE que também são utilizados para a MUSLE, que podem ser obtidos num SIG.

TABELA 3.6 – Parâmetros da USLE, correlacionados com a informação de base necessária e quais os procedimentos a utilizar para a conversão de dados em formato SIG.

<b>Parâmetros da USLE</b>	<b>Informação necessária</b>	<b>Procedimentos para a conversão dos dados para formato SIG</b>
<i>Erosividade</i>	<i>Pluviometria</i>	<i>Interpolação espacial dos valores da precipitação e intensidade pluviométrica</i>
<i>Erodibilidade</i>	<i>Variação espacial dos tipos e famílias de solo.</i>	<i>Atribuição de valores correspondentes do fator K aos polígonos do mapa de tipo de solo, por reclassificação do mesmo.</i>
<i>Comprimento das encostas</i>	<i>Modelo numérico do terreno (MDT)</i>	<i>Operações topológicas de conectividade e proximidade, que permitam criar uma função para o cálculo do fator L na bacia hidrográfica.</i>
<i>Inclinação das encostas</i>	<i>Modelo numérico do terreno (MDT)</i>	<i>Reclassificação dos valores da inclinação por classes. Obtenção do fator S por aplicação de uma expressão com este fim ao mapa das inclinações.</i>
<i>Técnica cultural</i>	<i>Variação espacial dos tipos de cultura (uso do solo)</i>	<i>Atribuição de valores correspondentes do fator C aos polígonos do mapa de ocupação do solo, por reclassificação do mesmo.</i>
<i>Práticas de conservação</i>	<i>Variação espacial das práticas de conservação</i>	<i>Reclassificação dos mapas com o valor do fator P, utilizando-se o valor 1 para zonas onde não existem práticas de conservação.</i>

FONTE: (Universidad de Sevilla, 2004)

### **3.6.1. Base de dados através de técnicas de Sensoriamento Remoto**

Com a evolução da informática e dos sistemas de tomadas de imagens, cada vez mais os planejadores tendem a fazer uso do Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informações Geográficas como forma de obter produtos que sirvam de ferramenta para levantamento de dados. Estes dados são utilizados para efetuar planejamentos com maior precisão e com economia de tempo.

O sensoriamento remoto moderno é o avanço natural da fotografia convencional, tendo surgido com a evolução das técnicas que permitem detectar e registrar outras formas de radiação eletromagnética além da luz visível.

Segundo NOVO (1999), sensoriamento remoto pode ser definido como a aquisição de informações sobre o objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações do objeto, neste caso são derivadas da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam.

A forma de aquisição dos dados se dá por uma plataforma que se encontra em órbita, chamada satélite. Segundo SILVA (1995), os satélites são plataformas artificiais construídas e colocadas pelo homem no espaço sideral que abrigam sensores com certas finalidades.

Na atualidade podem ser encontrados no mercado imagens provenientes de vários sistemas sensores, cada um com uma especificidade quanto aos tipos de dados gerados. Segundo ROCHA (2000), as principais plataformas em operação e que fornecem dados relativos a uso da terra são: LANDSAT TM 5 e 7, SPOT, CBERS (convênio entre Brasil e China para a geração de imagens, denominado de Earth Resources Satellite), RADARSAT, e mais recentemente a Plataforma IKONOS II, que é a que está produzindo imagens de melhor resolução espacial.

Para ROCHA (2000), a evolução do Sensoriamento Remoto através de sensores mais potentes, proporcionando imagens com resolução cada vez melhores, associadas com técnicas de extração de informações oriundas de processamento de imagens, ampliou sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento.

O produto do sensoriamento remoto de maior importância para os técnicos que utilizam este tipo de ferramenta constitui-se em mapas temáticos de uso

da terra e interpretação digital das imagens, que servem para determinar como se encontra a área a ser estudada, possibilitando a localização de fenômenos como os conflitos de uso da terra e para avaliação da extensão destes, além de dados secundários, oriundos de cruzamentos.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo considerada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, afluente do rio Jacuí, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Guaíba, a maior bacia hidrográfica do Estado do Rio Grande do Sul. Está situada entre as coordenadas geográficas  $53^{\circ} 46' 30''$  a  $53^{\circ} 49' 29''$  de longitude Oeste e  $29^{\circ} 36' 55''$  a  $29^{\circ} 39' 50''$  de latitudes Sul, abrangendo uma área total de 1145,7 km<sup>2</sup>. A figura 4.1 apresenta a localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul.

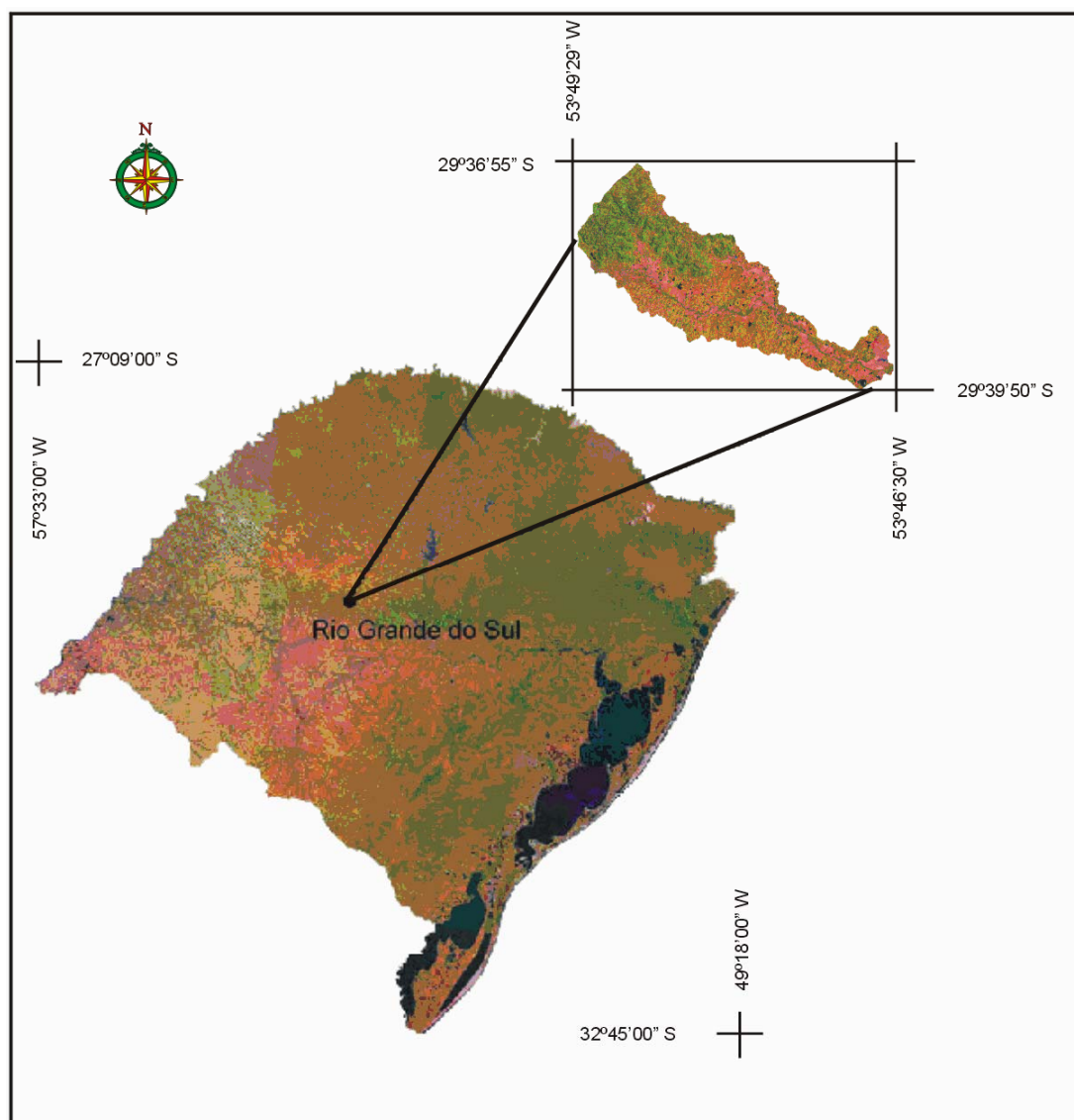


FIGURA 4.1 - Localização da bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim (Santa Maria-RS).

## 4.1. Características Fisiográficas

O Rio Grande do Sul apresenta quatro grandes compartimentos geomorfológicos: planalto, depressão central, escudo sul-rio-grandense e planície costeira. Neste contexto, a área em estudo, localizada no centro do estado, ocupa áreas de planalto e da depressão central (CASTILLERO, 1984).

Desta forma, a Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim pode ser dividida, em linhas gerais, em três grandes compartimentos geomorfológicos com características morfológicas e geológicas distintas:

**1) Região do Planalto:** A zona das nascentes localizada na denominada região do planalto, a altitude varia entre 300 e 480 metros, é formado pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozóico, com a presença de Basaltos, arenitos “intertraps”. A região é caracterizada pela presença de um relevo ondulado e suavemente ondulado, resultante do trabalho de dissecação fluvial na superfície do planalto. A drenagem tem padrão dendrítico, com vales em V ou de fundo plano (CASTILLERO, 1984).

**2) Rebordo do Planalto:** É uma área de transição entre o planalto e a depressão central, caracterizada por escarpas abruptas. A drenagem flui no sentido da depressão central e é caracterizada por um padrão dendrítico com presença marcante dos vales em V, que por erosão regressiva provocam o festonamento da escarpa (CASTILLERO, 1984).

**3) Depressão Central ou Periférica:** é constituída por rochas sedimentares da bacia do Paraná, que datam do Paleozóico e Mesozóico (Triássico), encobertos localmente por sedimentos cenozóicos e também recentes (planícies aluviais). Destaca-se na região uma topografia mais ou menos plana e suavemente ondulada, com morros de forma arredondada (CASTILLERO, 1984).

## 4.2. Características Climáticas

De acordo com ISAIA (1992) o clima específico da região da bacia em estudo, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, é o sub-tropical “Cfa”, com temperatura média anual de 19,3°C; a média das temperaturas máximas do mês

mais quente (janeiro) é de 31,5°C e do mês mais frio (julho) atinge os 9.3°C; a temperatura mínima absoluta é geralmente de 0°C, e a máxima absoluta é de 35°C.

A precipitação média anual é superior a 1.500 mm, com uma frequência de 113 dias. Entretanto, esta região pode sofrer um deficit anual superior a 200 mm de precipitação.

A umidade relativa do ar média anual é de 82%; os ventos predominantes são de leste e sudoeste, com frequência expressiva também para os ventos que sopram do quadrante norte. A região é periodicamente invadida por massas polares e frentes frias, responsáveis pelas baixas temperaturas (inverno) e pela regularidade na distribuição das precipitações.

### **4.3. Características da vegetação**

Segundo BORTOLUZZI (1971), o município de Santa Maria agrega vegetações dos campos limpos e da floresta sub-caducifolia sub-tropical, sendo que a bacia hidrográfica do rio Vacacaí-mirim apresenta as mesmas formações vegetais.

Os campos limpos constituem a pastagem natural, predominando em quase toda a depressão central ou periférica do município, ocupando a maior parte da bacia hidrográfica. Ocorrem também na porção do Planalto. Em meio aos campos, é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte, característica encontrada na região de maior altitude da bacia.

Na parte de maior declividade da bacia hidrográfica, formada pela transição entre o planalto e a depressão central, caracteriza-se a escarpa da Serra geral, sendo ocupada pela floresta sub-caducifolia sub-tropical, a qual, de acordo com SEPLAN (1986), constitui-se por dois estratos arbóreos distintos, um emergente e outro dominado. O estrato emergente apresenta árvores com altura variando entre 25 e 30 metros, constituindo-se pelo predomínio de espécies leguminosas caducifolias, dentre as quais se destacam a Grápia e o Angico Vermelho. O estrato dominado, contínuo, é constituído por árvores cuja altura não ultrapassa os 20 metros, caracterizando-se por uma grande diversidade florística de espécies predominantemente perenifolias, com considerável ocorrência de lauráceas: Canela-Guaicá, Guajuvira e Alegrim, entre outras. Além dos dois estratos arbóreos referidos,



verifica-se também a ocorrência de estrato arbustivo, com alta frequência de indivíduos, principalmente os gêneros *Actinostemon*, *Sorocea* e *Trichilia*, entremeados pela intensa regeneração das espécies formadoras dos níveis arbóreos.

#### **4.4. Características geológicas**

Conforme o mapa de solos detalhado de AZOLIN E MUTTI (1988), os solos da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim caracterizam-se por serem muito diversificados, predominando de uma forma geral, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sugerido pela EMBRAPA – Brasília - DF (1999), o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico, CHERNOSSOLO ARGILÚVICO, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS e LATOSSOLOS. Estes solos estão distribuídos em seis unidades de mapeamento que abrangem a bacia: Unidade de mapeamento Júlio de Castilhos, Unidade de mapeamento Charrua, Unidade de mapeamento Ciríaco, Unidade de mapeamento São Pedro, Unidade de mapeamento Santa Maria e Unidade de mapeamento Venda Grande. As três primeiras ocorrem nas porções localizadas no planalto e no rebordo do planalto e as demais ocorrem na parte do município localizada na depressão central.

Unidade de Mapeamento Júlio de Castilhos é constituída por solos ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico, em relevo ondulado e substrato basáltico, pertencendo à formação Serra Geral; são solos mediantemente profundos, bem drenados e de moderada capacidade erosiva, nos quais é recomendada a agricultura com práticas conservacionistas normais. Em alguns locais está associado aos NEOSSOLOS LITÓLICOS da formação Guassupi, próprios para pastagens.

Unidade de Mapeamento Charrua é constituída por NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos, em relevo montanhoso, pequena profundidade, moderadamente drenados, são solos altamente susceptíveis à erosão, em decorrência do relevo, da alta pedregosidade e da sua pouca espessura, recomendado para o uso com culturas perenes.

Unidade de Mapeamento Ciríaco é formada por CHERNOSSOLO ARGILÚVICO, com média profundidade e moderadamente drenados, ocorrendo em relevo fortemente ondulado, está associada aos solos da Unidade Charrua, formando a

Associação Ciríaco-Charrua, apresentando, portanto, as mesmas limitações e vocação da unidade anterior.

Unidade de Mapeamento São Pedro pertence à Formação Santa Maria (Cretáceo Inferior até o Triássico Superior), com substrato de arenitos, ocorrendo em altitude média de 150 metros, em terrenos ondulados com declividade entre 8 e 10%, com moderada capacidade erosiva, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, bem drenado, com profundidades superior a 1,0 metro, horizonte “A” com textura franco-argilo-arenosa, horizonte “B” com textura argilo-arenosa a franco-argilo-arenosa, recomendação: culturas perenes ou pastagens.

Unidade de Mapeamento Santa Maria, pertencente à Formação Santa Maria, é constituída por CHERNOSSOLO ARGILÚVICO, substrato de Siltitos e arenitos (Formação Lacustre), ocorrendo em altitude média de 100 metros, em terreno suavemente ondulado a ondulado (declividade média de 6%), com moderada a forte capacidade de erosão, solos imperfeitamente drenados, mediamente profundos, textura horizontal “A” Franco-Arenosa a Arenosa. Horizonte “B” com textura Franco-Siltosa, recomendado para pastagem.

A Unidade de Mapeamento Venda Grande, pertencente à formação Santa Maria, é constituída por CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico saprolítico, com substrato de Siltitos e Arenitos finos, ocorre em altitude média de 150 metros, em relevo ondulado, com pequenas elevações arredondadas, onde a declividade se situa entre 10 e 15%, com moderada capacidade de erosão, solos moderadamente drenados, de mediana profundidade, horizonte “A” com textura Franco-Arenosa, textura horizontal “B” Franco-Argilo-Arenosa.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. Obtenção de informações cartográficas

As informações cartográficas foram manipuladas com o auxílio do software IDRISI 32, além de outros aplicativos para a preparação e montagem de mapas. Inicialmente preparou-se uma base cartográfica compatível com o SIG (Sistema de Informações Geográficas) IDRISI 32, para alimentar o programa com os recursos necessários ao processamento de dados.

A base cartográfica constitui-se de quatro mapas inseridos no software em diferentes planos de informações, sendo eles:

- ❑ Mapa detalhado de solos (anexo1);
- ❑ Mapa de uso e ocupação do solo (anexo 2);
- ❑ Mapa das curvas de nível (anexo 3);
- ❑ Mapa da drenagem e das sub-bacias (anexo 4).

#### 5.1.1. Mapa de solos

Para a classificação dos solos, foi utilizado como base o mapa detalhado de solos da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, em escala 1:100000, confeccionado por AZOLIN E MUTTI (1988). De acordo com o mapa (anexo1), a bacia apresenta os seguintes tipos de solos:

- ❑ ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVA<sub>d1</sub>);
- ❑ ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abrupto (PVA<sub>d2</sub>);
- ❑ ARGISSOLO VERMELHO-ESCURO Alumínico (PVE<sub>a1</sub>);
- ❑ ARGISSOLO VERMELHO-ESCURO Distrófico (PVE<sub>d1</sub>);
- ❑ ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alumínico (ABAC<sub>a</sub>);
- ❑ ARGISSOLO Eutrófico e Distrófico (P);
- ❑ ARGISSOLO Alumínico (Pa);
- ❑ CAMBISSOLO Eutrófico e Distrófico (C);
- ❑ PLANOSSOLO Eutrófico e Distrófico (S);
- ❑ PLANOSSOLO Distrófico (S<sub>d</sub>);

- ❑ SOLO ALUVIAL Eutrófico e Distrófico (A<sub>1</sub>);
- ❑ NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico relevo ondulado (Rd<sub>1</sub>);
- ❑ NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico relevo forte ondulado (Rd<sub>2</sub>);
- ❑ NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico relevo forte ondulado (Re<sub>1</sub>);
- ❑ NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico relevo montanhoso (Re<sub>1</sub>);

Associações de solos:

- ❑ Pa – Rd;
- ❑ PVEa – Rd;
- ❑ PVEa – colúvios (co);
- ❑ PVAd – Sd;
- ❑ PVAd<sub>2</sub> – ABACa;
- ❑ ABACa – PVA – co – R
- ❑ Re – C – co

A descrição dos solos apresentados por AZOLIN E MUTTI (1988), foi atualizada de acordo com a nova classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sugerido pela EMBRAPA – Brasília - DF (1999).

### **5.1.2. Mapa de uso e ocupação do solo**

O mapa de uso e ocupação do solo foi confeccionado a partir de imagens do satélite LANSAT-7, através do sensor ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus), que compreende 8 bandas espectrais; três no visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio, uma no infravermelho termal e uma banda pancromática. A imagem foi adquirida no ano de 1998, tendo uma resolução espacial de 30 metros e foi classificada em 8 classes de uso (anexo 2):

- ❑ Solo exposto (lavoura de arroz);
- ❑ Água (barragens);
- ❑ Campo;
- ❑ Agricultura;
- ❑ Floresta nativa;
- ❑ Banhado;
- ❑ Área urbana;

- Pinus.

### **5.1.3. Mapa das curvas de nível**

As curvas de nível foram digitalizadas em tela, no software Auto Cad 2000 (AUTODESK, 2000), a partir da montagem das 7 cartas militares respectivas a abrangência da área total da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim. As cartas apresentam curvas a cada 20 metros de desnível, sendo que suas cotas variam de 20 a 560 metros de altitude (anexo 3).

### **5.1.4. Mapa da drenagem e das sub-bacias**

A drenagem também foi digitalizada em tela, utilizando o mesmo procedimento adotado para a digitalização das curvas de nível. A partir da disposição espacial da drenagem, das curvas de nível e da carta de solos; a área total da bacia foi dividida em sub-bacias considerando a chegada de cada afluente no rio principal como início de cada sub-bacia, totalizando 92 sub-bacias que chegam ao rio principal e 1 sub-bacia com escoamento direto no rio Jacuí, ou seja, o rio principal tem 92 afluentes (anexo 4 e 5).

## **5.2. Metodologia aplicada a amostragem granulométrica dos solos**

A partir do mapa de solos de AZOLIN E MUTTI (1988) georreferenciado no sistema de coordenadas UTM (datum SAD 69), foi possível localizar com um GPS (Global Positioning System ) de navegação, com precisão nominal de 30 metros, os pontos mais representativos de cada tipo de solo apresentado na bacia. Foram coletadas amostras dos principais tipos de solos para análise granulométrica executada conforme as normas técnicas da ABNT – NBR 7181, utilizando-se peneiramento e sedimentação, para a obtenção das percentagens de areia grossa, areia média, areia fina e silte. A percentagem de argila pode ser obtida pelo triângulo de classificação textural do solo apresentado na figura 5.1.

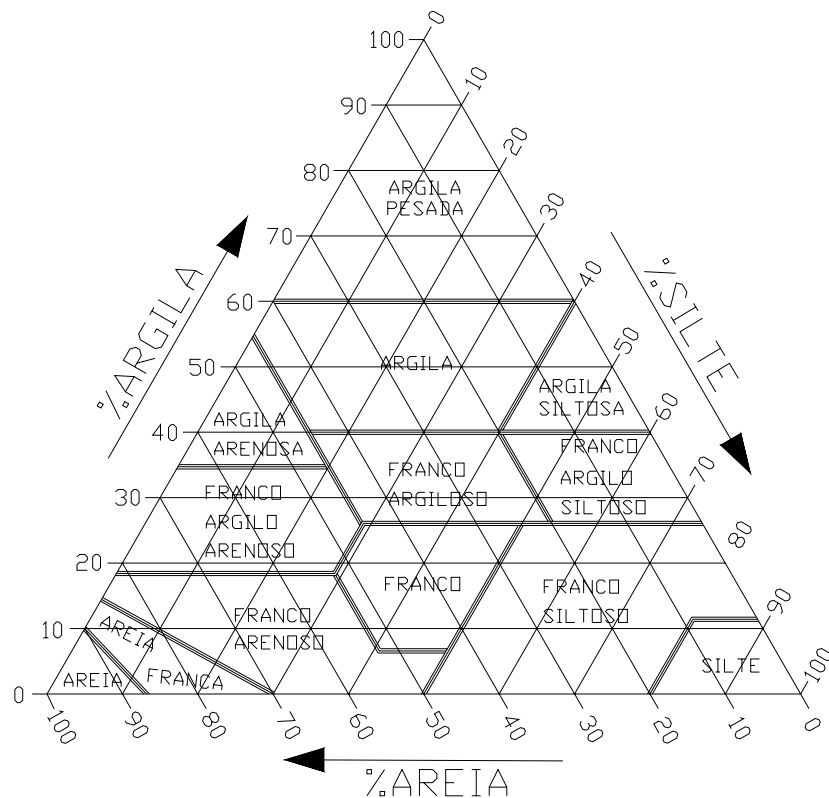


FIGURA 5.1 – Triângulo para classificação das classes texturais do solo, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SANTOS & LEMOS, 1984).

### 5.3. Metodologia aplicada a determinação da vazão de pico e volume de escoamento

A determinação da vazão de pico e do volume de escoamento foi calculada pelo método do Soil Conservation Service – SCS a partir dos dados de precipitação e das características hidráulicas da bacia, descrito por LENCASTRE E FRANCO (1984) como segue:

#### 5.3.1. Vazão de pico de cheia ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{0,27.K.H_u.A}{T_p'} \quad (5.1)$$

Onde:

$Q_p$  = vazão de pico de cheia ( $m^3/s$ );

$K$  = fator de pico: 1,0 para bacias com forte declividade; 0,5 para bacias muito planas e 0,75 para bacias médias;

$A$  = área da bacia em  $km^2$ ;

$T_p$  = tempo de pico em horas;

$H_u$  = parcela útil da precipitação total ( $mm$ ).

Para a utilização do fator de pico ( $K$ ), foi adotado valor 0,75 para todas as bacias.

### 5.3.1.1. Precipitação útil ( $H_u$ )

$$H_u = \frac{(H - H_o)^2}{H + 4.H_o} \Rightarrow \text{Para } H > H_o \quad (5.2)$$

$$H_u = 0 \Rightarrow \text{Para } H < H_o \quad (5.3)$$

Onde :

$H_o$  = perdas iniciais da chuva em  $mm$ ;

$H$  = altura total de chuva em  $mm$ ;

$$H_o = \frac{5080}{N} - 50,8 \quad (5.4)$$

$N$  = número de escoamento , depende do tipo hidrológico do solo , do seu uso e das condições de superfície ( tabelas 5.1 e 5.2 ).

$$H = I \cdot t \quad (5.5)$$

Onde:

$I$  = intensidade de precipitação em  $mm/hora$ ;

$t$  = duração da chuva em horas.

Para o cálculo da intensidade de precipitação utilizou-se a equação de chuvas para a região de Santa Maria, desenvolvida por BELINAZO E PAIVA (1991).

$$I = \frac{807,801.Tr^{0,1443}}{(t + 5,67)^{0,7472.Tr^{-0,028}}} \quad (5.6)$$

Onde:

$I$  = intensidade de precipitação em mm/hora;

$Tr$  = tempo de retorno em anos;

$t$  = duração da chuva em minutos.

A metodologia do SCS classifica os solos quanto ao potencial de escoamento superficial como:

- **TIPO A** : Baixo potencial de escoamento superficial ; elevadas intensidades de infiltração . Solos arenosos , profundos , com pouco silte e argila.
- **TIPO B** : Potencial de escoamento superficial abaixo da média , intensidade de infiltração moderada , quando completamente umedecidos. Permeabilidade superior á média.
- **TIPO C** : Potencial de escoamento superficial acima da média , baixas intensidades de infiltração , quando completamente umedecidos , altos teores de argila e pouco profundos.
- **TIPO D** : Alto potencial de escoamento superficial , solos contendo argilas expansivas , intensidade de infiltração muito baixa . Solos com nível freático permanentemente próximo a superfície e solos com substrato impermeáveis a pouca profundidade .

A tabela 5.1 apresenta os valores de  $N$  da equação 5.4 para as condições de umidade antecedente (AMCII). A metodologia considera ainda três condições antecedentes de umidade do solo na definição do número do escoamento  $N$ , quais sejam:

- **AMCI** : Situações em que os solos estão secos . Na estação de crescimento a precipitação acumulada dos 5 dias anteriores é menor que 36mm e em outro período menor que 13mm .
- **AMCII** : Situação média do solo correspondente a capacidade de campo
- **AMCIII** : Situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos 5 dias anteriores e o solo encontra-se saturado . No período de crescimento as precipitações acumuladas nos 5 dias anteriores são maiores do que 53mm e no outro são maiores do que 28 mm.



A tabela 5.1 apresenta os valores de N para bacias rurais.

TABELA 5.1 – Valores de N para bacias rurais.

Tipo de solo		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceados em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de Cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceados em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceados em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas de baixa Transpiração	45	66	77	83
	Boas	36	60	73	79
	Esparsas de alta Transpiração	25	55	70	77
Chácaras , estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	86	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas c/baixa Transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas , alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: LENCASTRA E FRANCO (1984)

Para a condição AMCII, a tabela 5.2 apresenta os valores correspondentes para as demais condições de umidade antecedente.

TABELA 5.2 – Correspondência entre os números de escoamento de N para as várias condições antecedentes de umedecimento do solo.

AMC			AMC			AMC			AMC		
II	I	III	II	I	III	II	I	III	III	I	III
100	100	100	80	63	91	60	40	78	40	22	60
99	97	100	79	62	91	59	39	77	39	21	59
98	94	99	78	60	90	58	38	76	38	21	58
97	91	99	77	59	89	57	37	75	37	20	57
96	89	99	76	58	89	56	36	75	36	19	56
95	87	98	75	57	88	55	35	74	35	18	55
94	85	98	74	55	88	54	34	73	34	18	54
93	83	98	73	54	87	53	33	72	33	17	53
92	81	97	72	53	86	52	32	71	32	16	52
91	80	97	71	52	86	51	31	70	31	16	51
90	78	96	70	51	85	50	31	70	30	15	50
89	76	96	69	50	84	49	30	69	25	12	43
88	75	95	68	48	84	48	29	68	20	9	37
87	73	95	67	47	83	47	28	67	15	6	30
86	72	94	66	46	82	46	27	66	10	4	22
85	70	94	65	45	82	45	26	65	5	2	13
84	68	93	64	44	81	44	25	64	0	0	0
83	67	93	63	43	80	43	25	63			
82	66	92	62	42	79	42	24	62			
81	64	92	61	41	78	41	23	61			

Fonte: LENCASTRE E FRANCO (1984)

A duração da chuva de projeto pode ser dada por:

$$t = D + \frac{H_0}{I} \quad (5.7)$$

Onde:

D = duração da chuva útil, que pode ser substituída inicialmente pelo tempo de concentração ( $T_c$ ) em horas para calcular o processo iterativo, considerando que o valor de  $I$  também agrega em sua fórmula o valor de  $t$ .

### 5.3.1.2 Tempo de pico

$$T_p = \frac{1}{2}D + 0,6 \cdot T_c \quad (5.8)$$

Sendo:

D = duração da chuva efetiva, sendo que para este trabalho utilizamos este valor como sendo igual ao tempo de concentração da bacia ( $T_c$ ). Para bacias com  $T_c < 4$  horas, pode ser calculado pela fórmula de MOCKUS:

$$D = 2 \cdot \sqrt{T_c} \quad (5.9)$$

Onde:

Tc = tempo de concentração da bacia em horas.

Para bacias até 8,0 km<sup>2</sup>, o T<sub>p</sub> é:

$$T_p = \frac{2,6 \cdot L^{0,8} \cdot \left( \frac{H_0}{5,08} + 1 \right)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad (5.10)$$

Onde :

L = comprimento do rio principal ( m ) ;

Y = declividade da bacia ( % ).

O tempo de concentração (Tc) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$Tc = \left( \frac{0,87 \cdot L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (5.11)$$

Onde:

L = comprimento do rio principal;

H = diferença de nível entre a cota mais alta e o exutório da bacia.

O valor do tempo de recessão do hidrograma é dado por:

$$t_r = 1,67 \cdot T_p \quad (5.12)$$

Neste trabalho utilizou-se o T<sub>p</sub> como sendo:

$$T_p = 0,6 \cdot Tc \quad (5.13)$$

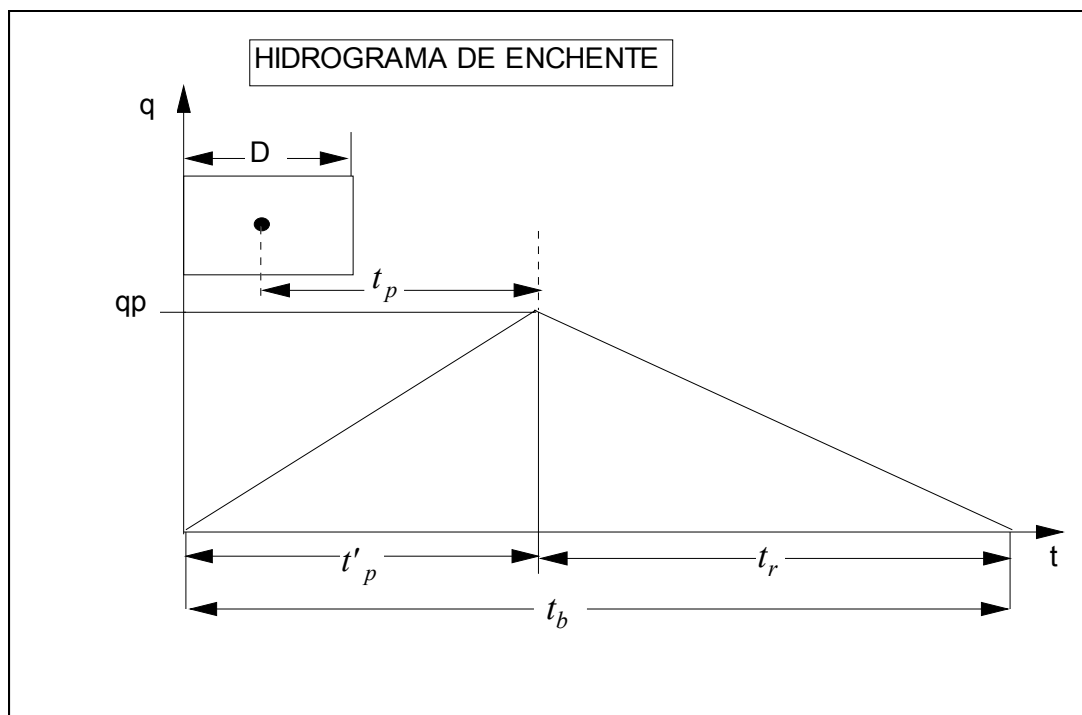


FIGURA 5.2 – Hidrograma triangular do SCS.

#### 5.4. Determinação dos fatores **K**, **LS**, **C** e **P** para a aplicação da **MUSLE** nas sub-bacias

Conforme já citado anteriormente, o fator **K** representa as propriedades inerentes ao solo que afetam a maior ou menor facilidade a erosão, estando relacionadas com a velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento, sendo expresso em t/ha/Mj/ha x mm/h pela equação descrita abaixo.

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - Ka) + 3,25 \cdot (Kb - 2) + 2,5 \cdot (Kc - 3)] \cdot 0,001313 \quad (5.14)$$

onde:

$M = (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina}) \cdot (100 - \% \text{ argila});$

$Ka = \% \text{ de matéria orgânica};$

$Kb = \text{coeficiente relativo a estrutura do solo};$

$Kc = \text{classe de permeabilidade}.$

O valor de **M** é obtido a partir da análise granulométrica dos solos e o valor de **Ka** é estimado para as principais culturas de acordo com os teores médios de

matéria orgânica usualmente encontrados para cada tipo de exploração agrícola, conforme segue na tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Teores médios de Matéria Orgânica (M.O.) em função da cobertura vegetal.

COBERTURA	% M.O.
Pinus	5
Eucalipto	4
Mata nativa	5
Lavoura	2,5
Campo nativo	1

Fonte: LOPES & GUIDOLIN,1987

Os valores de **K<sub>b</sub>** e **K<sub>c</sub>** são obtidos a partir do nomograma de Wischmeier (figura 3.4) que define os valores abaixo para **K<sub>b</sub>**, conforme a estrutura do solo:

- Muito fina – 1;
- Fina – 2;
- Média – 3;
- Grossa – 4;

Para os valores de **K<sub>c</sub>**, relativos a classe de permeabilidade do solo, os valores são:

- Muito baixa – 6;
- Baixa – 5;
- Baixa a moderada – 4;
- Moderada – 3;
- Alta – 2;
- Muito alta – 1;

Considerando que em cada sub-bacia pode existir mais de um tipo de solo, o valor de **K** é obtido através da média ponderada dos valores de **K** de cada solo, tendo como ponderador a área.

Na Equação Universal de Perda de Solos Modificada - MUSLE, o fator **LS** é um dos parâmetros mais importantes por ter grande influência na variação da erosão bruta. Considera-se o Fator **LS** a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação as perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 22 m de comprimento e 9% de declive.

Para o cálculo deste fator é de fundamental importância a obtenção de mapas de declividade (anexo7);

Considera-se **L** o comprimento de rampa em metros, calculado como a quarta parte do menor lado do retângulo equivalente em área, conforme Paiva (1995); sendo dado por:

$$L = 0,25 \cdot \left[ \frac{Per}{4} - \sqrt{\left( \left( \frac{per}{4} \right)^2 - A \right)} \right] \quad (5.15)$$

onde:

Per = perímetro da bacia (m);

A = área da bacia (m<sup>2</sup>);

O valor da declividade média (fator **S**) para cada sub-bacia, é obtido através do mapa de declividades, através da média ponderada dos valores de **S**, tendo como ponderador a área.

De posse dos fatores **L** e **S** para cada sub-bacia, pode-se calcular então o fator **LS** com a seguinte equação:

$$LS = (L/22,1)^m \cdot (0,065 + 0,0454 \cdot S + 0,0065 \cdot S^2) \quad (5.16)$$

onde:

$m = 0,2$  para  $S < 1\%$ ;

$m = 0,3$  para  $3\% > S > 1\%$ ;

$m = 0,4$  para  $5\% > S > 3\%$ ;

$m = 0,5$  para  $S > 5\%$ ;

**S** = declividade média da encosta em %;

**L** = comprimento médio da encosta em metros.

O fator **C** que representa o uso e manejo do solo, é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Este fator pode ser obtido diretamente nas tabelas 3.1; 3.2 e 3.3 de acordo com o tipo de uso do solo em cada sub-bacia; considerando também um valor da média ponderada dos valores de **C** para os diversos tipos de uso dentro de cada sub-bacia, tendo como ponderador a área.

O fator **P** de prática conservacionista, que corresponde à relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, mantendo-se as condições-padrão de relevo e de uso e manejo, pode ser obtido na tabela 3.4. A tabela referida atende às práticas conservacionistas mais comuns para culturas anuais (plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas). O fator **P** pode ser tabelado em função das declividades, uma vez que a eficiência das práticas de controle de erosão depende dessa declividade. Os valores de **P** adotados para o cultivo em nível, sem outras proteções mecânicas do solo, estão apresentados na tabela 3.5.

### **5.5. Determinação do parâmetro de propagação de sedimentos de Williams (1975)**

Para a determinação do parâmetro de propagação de sedimentos de Williams (1975), após a determinação da quantidade de sedimento produzido em cada sub-bacia, por uma chuva isolada, através da Equação Universal de Perda de Solos Modificada – MUSLE; as sub-bacias foram divididas em três grupos que representam as três regiões fisiográficas mais distintas da bacia e o parâmetro de propagação de sedimentos foi calculado separadamente para cada uma das regiões fisiográficas, ou seja, foram obtidos três valores do parâmetro de propagação, o primeiro valor para a região do planalto, o segundo para a região do rebordo do planalto e o terceiro para a depressão central.

Em cada uma das regiões foi definida uma das sub-bacias mais representativa de suas características gerais, a escolha foi baseada principalmente pela declividade média e comprimento do rio principal, de forma com que a sub-bacia escolhida tivesse estes fatores o mais próximo da média geral das bacias da região fisiográfica considerada. Dentro da sub-bacia escolhida, os valores de **K**, **LS**, **C** e **P** foram considerados uniformes em toda a sua área. Após a escolha das três sub-bacias, estas foram sub-divididas em várias sub-bacias menores de acordo com sua drenagem. Considerando que todas as sub-bacias têm os fatores **K**, **LS**, **C** e **P** uniformes, pode-se neste caso desconsiderá-los, trabalhando apenas com os

parâmetros hidráulicos tanto da sub-bacia, quanto das sub-bacias menores que a compõe.

Desta forma, pode-se calcular o parâmetro de propagação (**B**) através da equação 3.14, já citada anteriormente.

$$(Q_s \cdot q_p)^{0,56} = \sum_{i=1}^n (Q_{s_i} \cdot q_{p_i})^{0,56} \cdot e^{-B \cdot T_i \cdot \sqrt{D_{50_m}}} \quad (3.14)$$

onde:

$Q_s$  = volume escoado em cada sub-bacia;

$Q_{s_i}$  = volume escoado em cada sub-bacia menor;

$q_p$  = vazão de pico de cheia da sub-bacia;

$q_{p_i}$  = vazão de pico de cheia da sub-bacia menor **i**;

$B$  = coeficiente de propagação;

$T_i$  = tempo de percurso da água entre a sub-bacia menor **i** e o exutório da sub-bacia (horas);

$D_{50}$  = diâmetro médio da partícula de sedimento da sub-bacia **i**;



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. Análises granulométricas

Os resultados das análises granulométricas foram agrupados nos principais tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, incluindo num mesmo grupo, solos com diferença apenas nas suas características químicas e não granulométricas, como por exemplo, solos Eutróficos e Distróficos da mesma classe textural pertencem ao mesmo grupo. Portanto, não existe uma análise granulométrica para cada tipo de solo específico, mas os resultados apresentam as análises granulométricas dos principais tipos de solos encontrados na bacia em estudo. A tabela 6.1 apresenta os resultados das análises.

TABELA 6.1 – Resultados da granulometria dos principais tipos de solos existentes na bacia do Rio Vacacaí-Mirim.

<b>Tipo de Solo</b>	<i>%Argila</i>	<i>%silte</i>	<i>%areia fina</i>
CAMBISSOLO	5	10	55
NEOSSOLO LITÓLICO relevo ondulado	15	25	17
NEOSSOLO LITÓLICO relevo montanhoso	32	25	10
ALISSOLO	11	34	42
NEOSSOLO – CAMBISSOLO - COLÚVIOS	8	10	56
ARGISSOLO – NEOSSOLO LITÓLICO	29	35	20
PLANOSSOLO	7	12	50

As amostras representativas de cada tipo de solo foram pré-secadas e transferidas ao laboratório, onde após a secagem das mesmas foi realizada a análise granulométrica, em conformidade com a Norma Técnica da ABNT NBR 7181/84. As figuras 6.1 a 6.7 apresentam as curvas granulométricas dos solos amostrados.

### Curva granulométrica

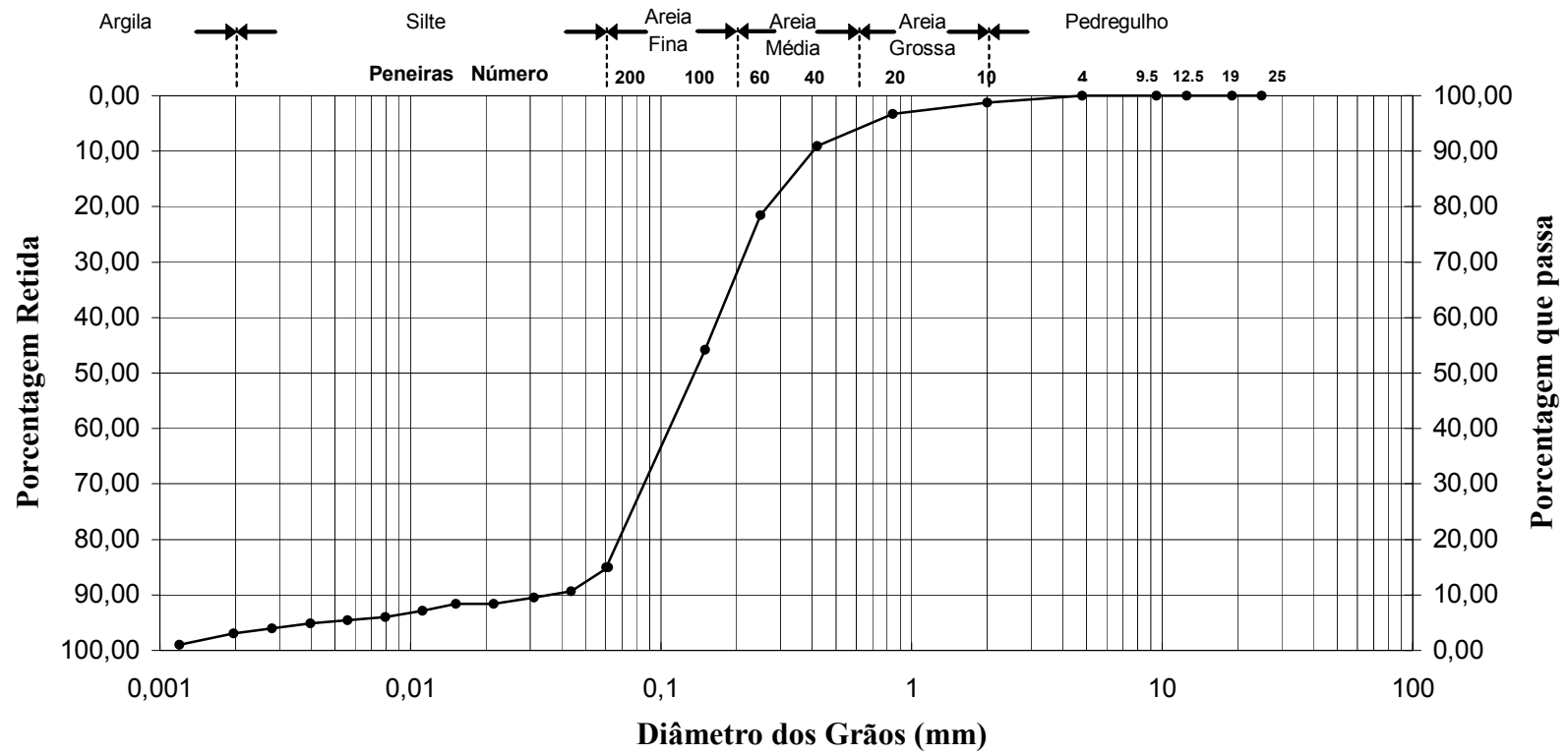


FIGURA 6.1 – Curva granulométrica da amostra de CAMBISSOLO.

### Curva granulométrica

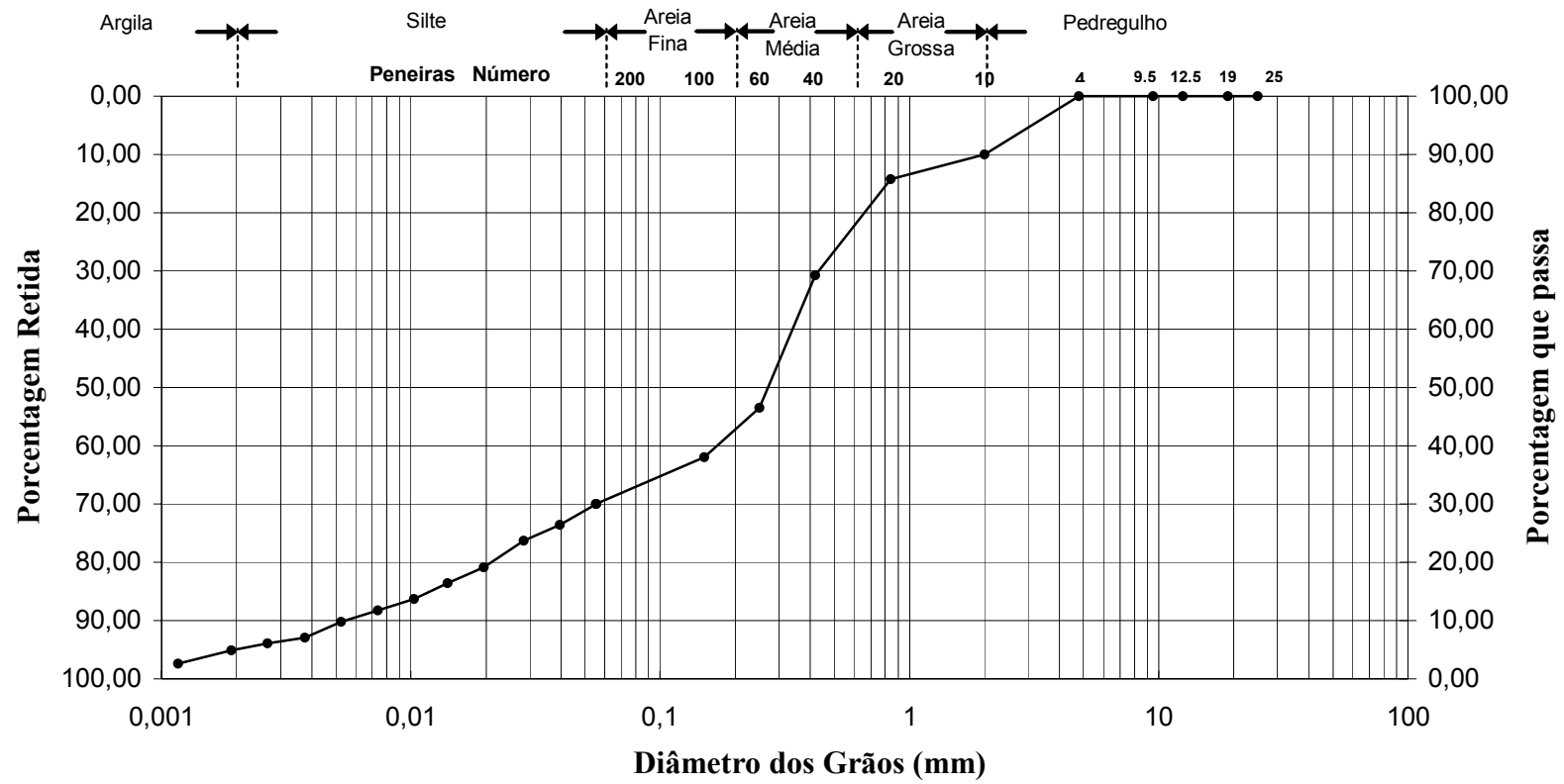


FIGURA 6.2 – Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO LITÓLICO relevo ondulado.

### Curva granulométrica

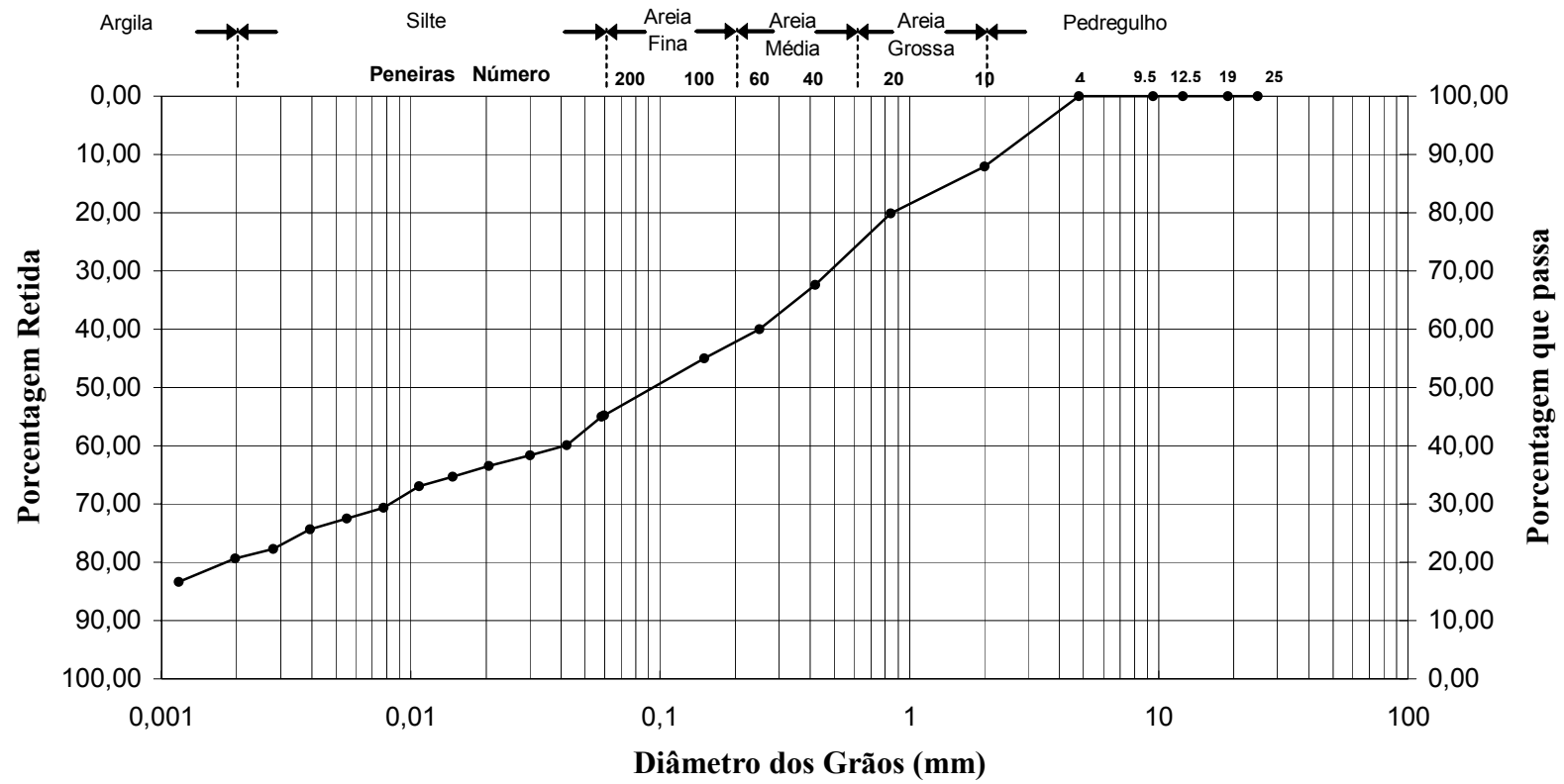


FIGURA 6.3 – Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO LITÓLICO relevo montanhoso.

### Curva granulométrica

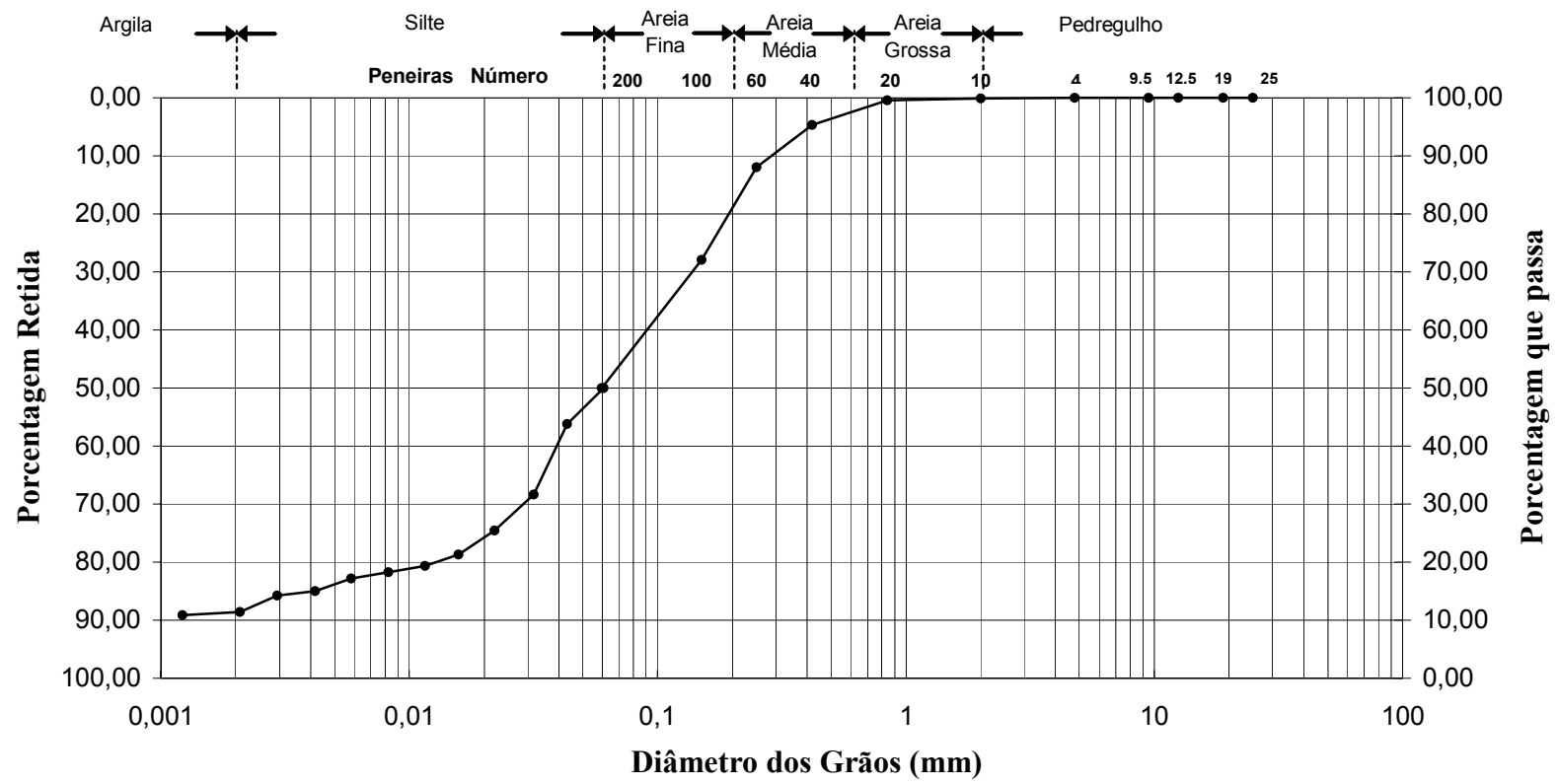


FIGURA 6.4 – Curva granulométrica da amostra de ALISSOLO.

### Curva granulométrica

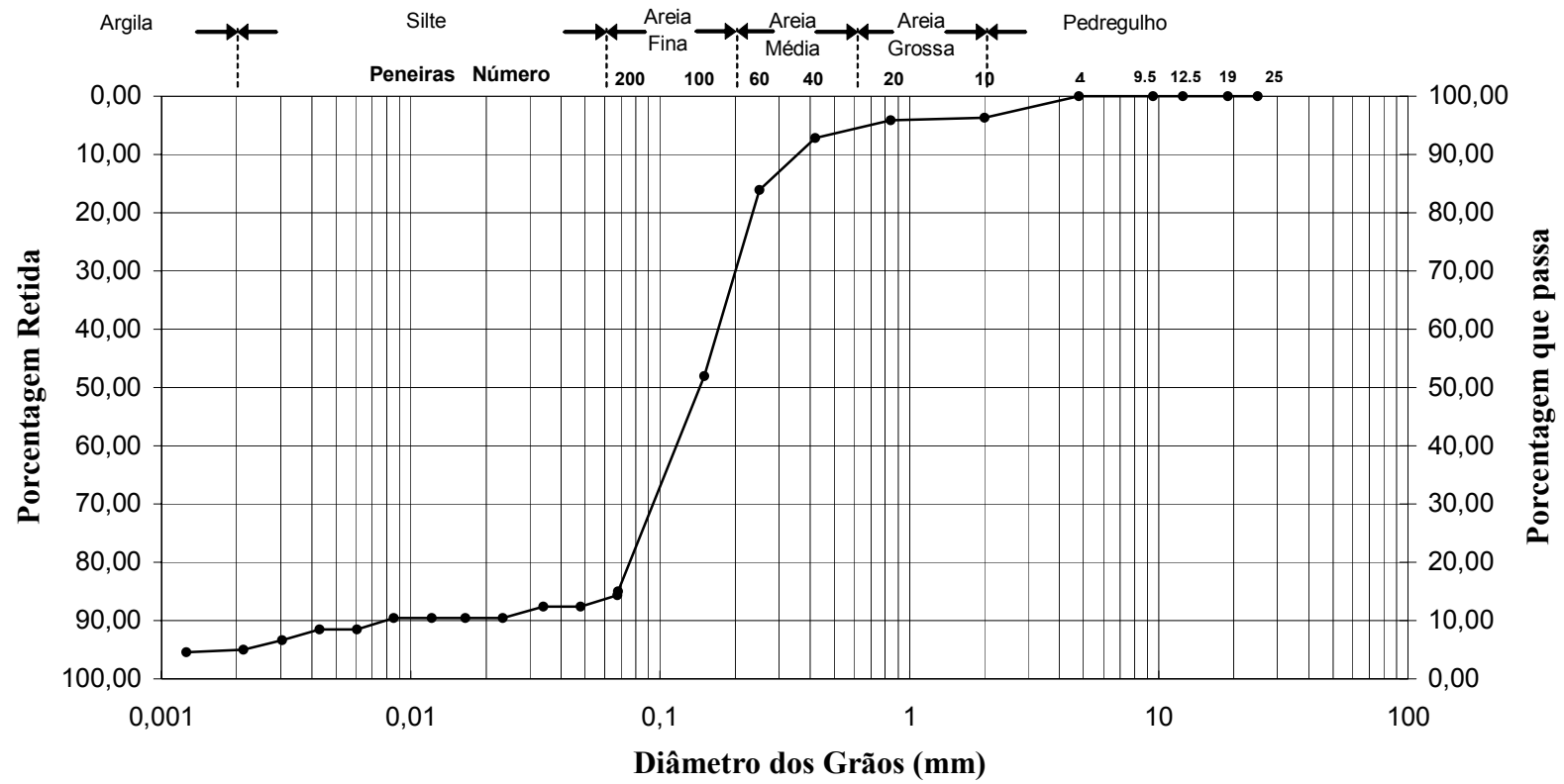


FIGURA 6.5 – Curva granulométrica da amostra de NEOSSOLO – CAMBISSOLO - COLÚVIOS.

### Curva granulométrica

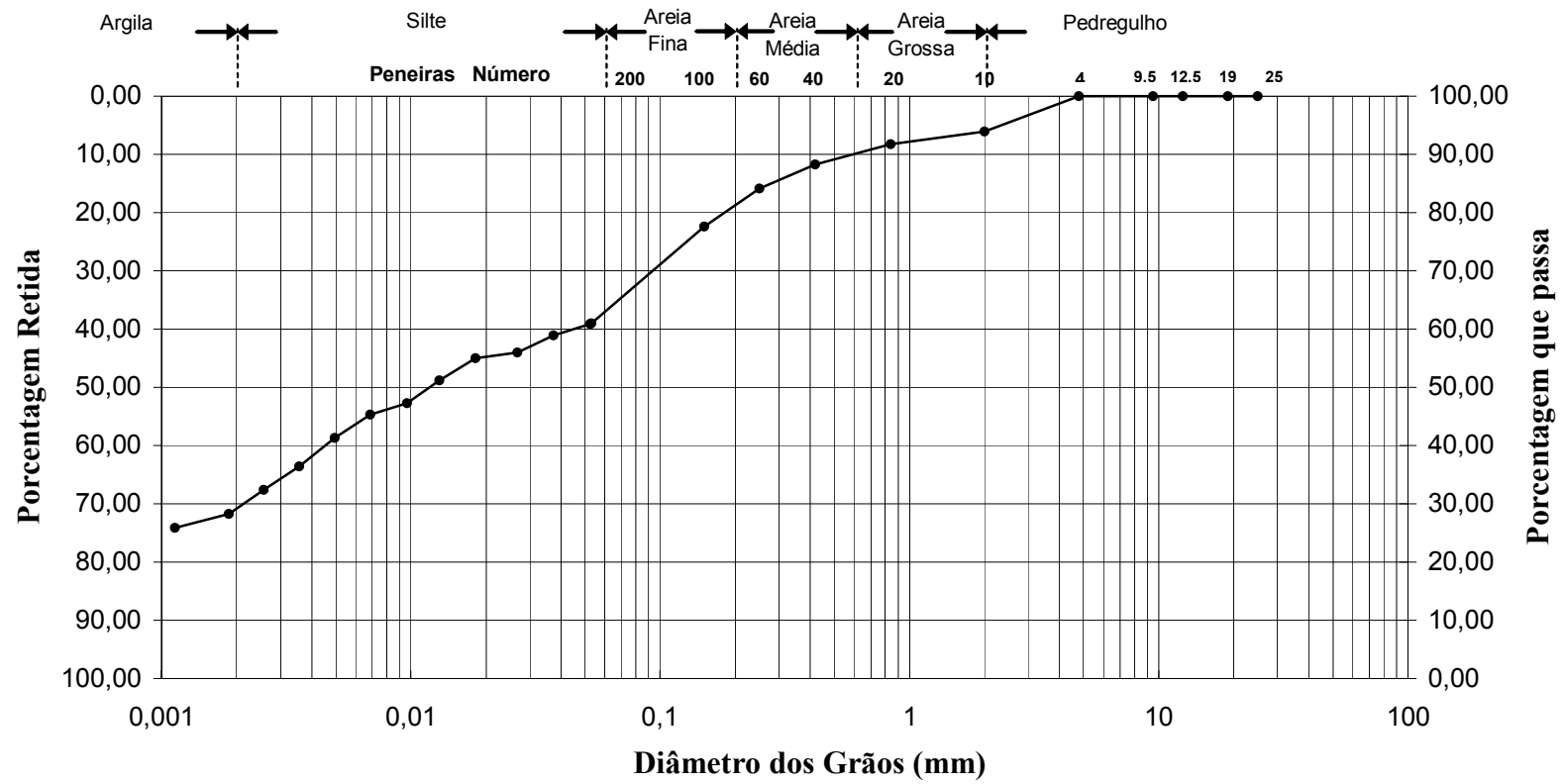


FIGURA 6.6 – Curva granulométrica da amostra de ARGISSOLO – NEOSSOLO LITÓLICO.

### Curva granulométrica

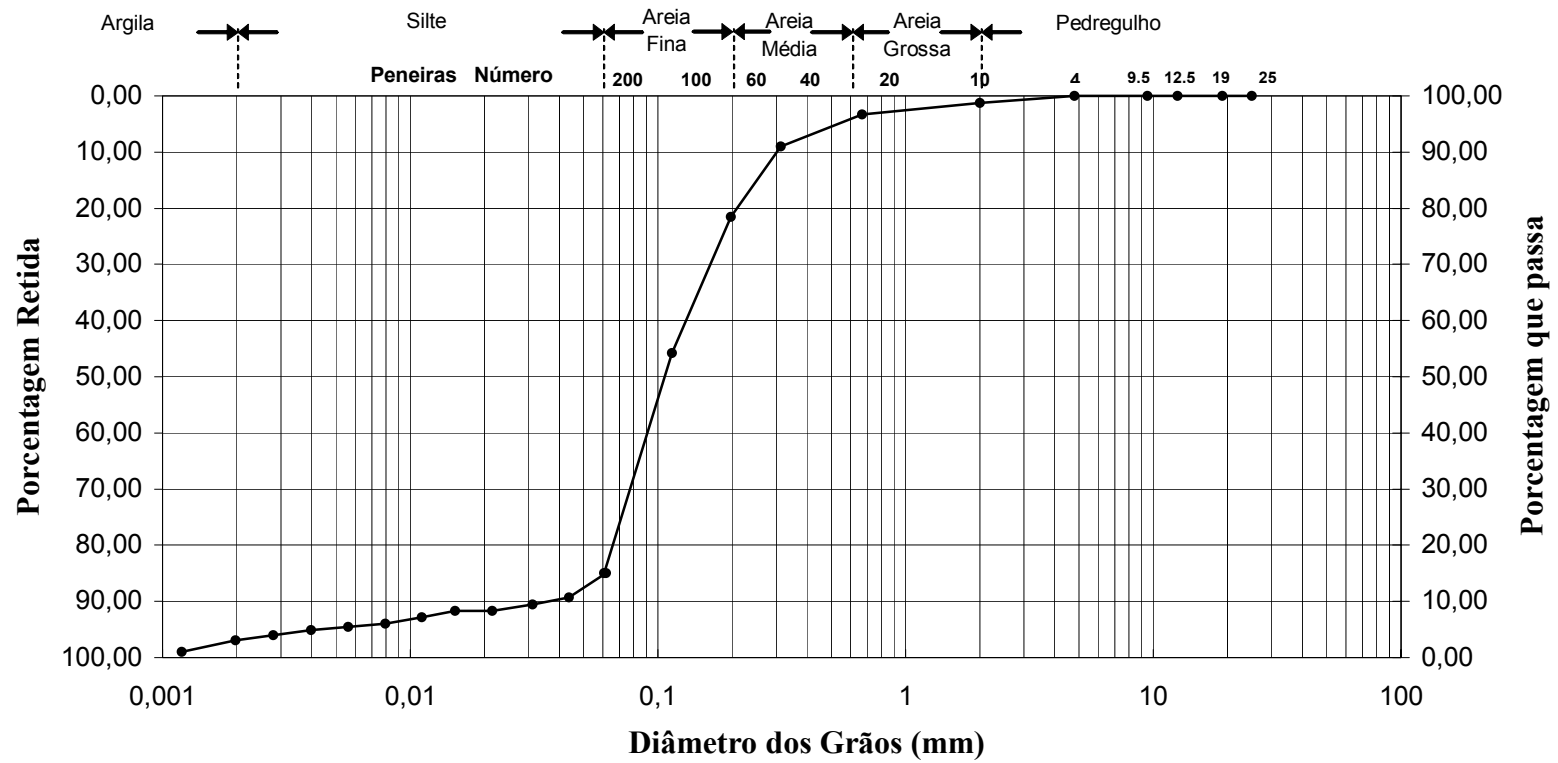


FIGURA 6.7 – Curva granulométrica da amostra de PLANOSSOLO.



## 6.2. Parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975)

O parâmetro de propagação (**B**) calculado para cada uma das regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Vacacai-Mirim, foi obtido pela sub-divisão de uma sub-bacia escolhida como representativa em cada uma destas regiões pelos critérios já citados anteriormente. Para a região do planalto foi escolhida como representativa a sub-bacia número 31; para a região do rebordo do planalto foi escolhida como representativa a sub-bacia número 87 e para região da depressão central foi escolhida como representativa a sub-bacia número 68.

Cada parâmetro de propagação (**B**) deve ser aplicado apenas dentro da região fisiográfica em que ele foi calculado, o anexo 8 apresenta o mapa com a definição dos limites de cada região. A tabela abaixo apresenta a composição das sub-bacias de cada região.

TABELA 6.2 – Composição das sub-bacias que representam cada uma das regiões fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

REGIÃO	SUB-BACIAS
Planalto	86,27,25,71,29,33,31,32.
Rebordo do planalto	87,92,93,84,83,85,40,42,35,36,39,26,24,28,23,72.
Depressão central	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,30,37,38,41,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,88,89,90,91.

### 6.2.1. Parâmetro de propagação para a região do Planalto

O cálculo do parâmetro de propagação (**B**) da região do Planalto foi feito pela subdivisão da sub-bacia número 31 em 7 sub-bacias menores, nas quais os fatores **K**, **LS**, **C** e **P** da MUSLE foram considerados homogêneos. O volume escoado e a vazão de pico para cada uma destas sub-bacias foram contabilizados para a mesma chuva de projeto calculada na sub-bacia 31; o anexo 11 apresenta o cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS (Soil Conservation Service) para cada uma destas 7 sub-bacias. A tabela 6.1 apresenta os dados

utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação nas sub-bacias da sub-bacia número 31; onde a velocidade foi estimada com base na declividade média e o tempo de percurso foi obtido dividindo-se o comprimento do rio pela velocidade.

Os valores de  $Q_s$  e  $q_p$  da tabela 6.1 foram calculados para um período de retorno (TR) de 50 anos, sendo que o valor de  $B$  não teve variação em função do período de retorno.

QUADRO 6.1 – Dados das sub-bacias utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação ( $B$ ) na sub-bacia número 31.

Microbacia	Dados das sub-bacias							
	$Q_s$ ( $m^3$ )	$q_p$ ( $m^3/s$ )	C. Rio (m)	DN	Decliv. (%)	Vel. (m/s)	Ti (hs)	D50m (mm)
31A	41.295	14,52	3241,0	100,0	3,09	0,60	1,50	0,1133
31B	50.405	17,31	3241,0	100,0	3,09	0,60	1,50	0,1133
31C	18.871	20,03	3140,0	80,0	2,55	0,50	1,74	0,1133
31D	18.520	23,84	2018,0	40,0	1,98	0,40	1,40	0,1133
31E	66.523	26,31	1952,0	40,0	2,05	0,40	1,36	0,1133
31F	19.221	11,25	830,0	20,0	2,41	0,50	0,46	0,1133
31G	66.873	39,01	479,0	10,0	2,09	0,40	0,33	0,1133
31	281.708	49,40					$B=$	1,082

LEGENDA:  $Q_s$  é a volume escoado em metros cúbicos;  $q_p$  é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; C. Rio é o comprimento do rio em metros; DN é a diferença de nível em metros; Decliv. é a declividade em percentagem; Vel. é a velocidade em metros por segundo; Ti é o tempo de percurso em horas; D50m é o diâmetro médio do grão referente a 50% do diâmetro das partículas em termos de peso. Os dados das colunas 4, 5, 6, 7 e 8 referem-se ao percurso da microbacia até o exutório da sub-bacia 31;  $B$  é o parâmetro de propagação.

A figura abaixo mostra a sub-bacia número 31 com a divisão interna das sub-bacias.

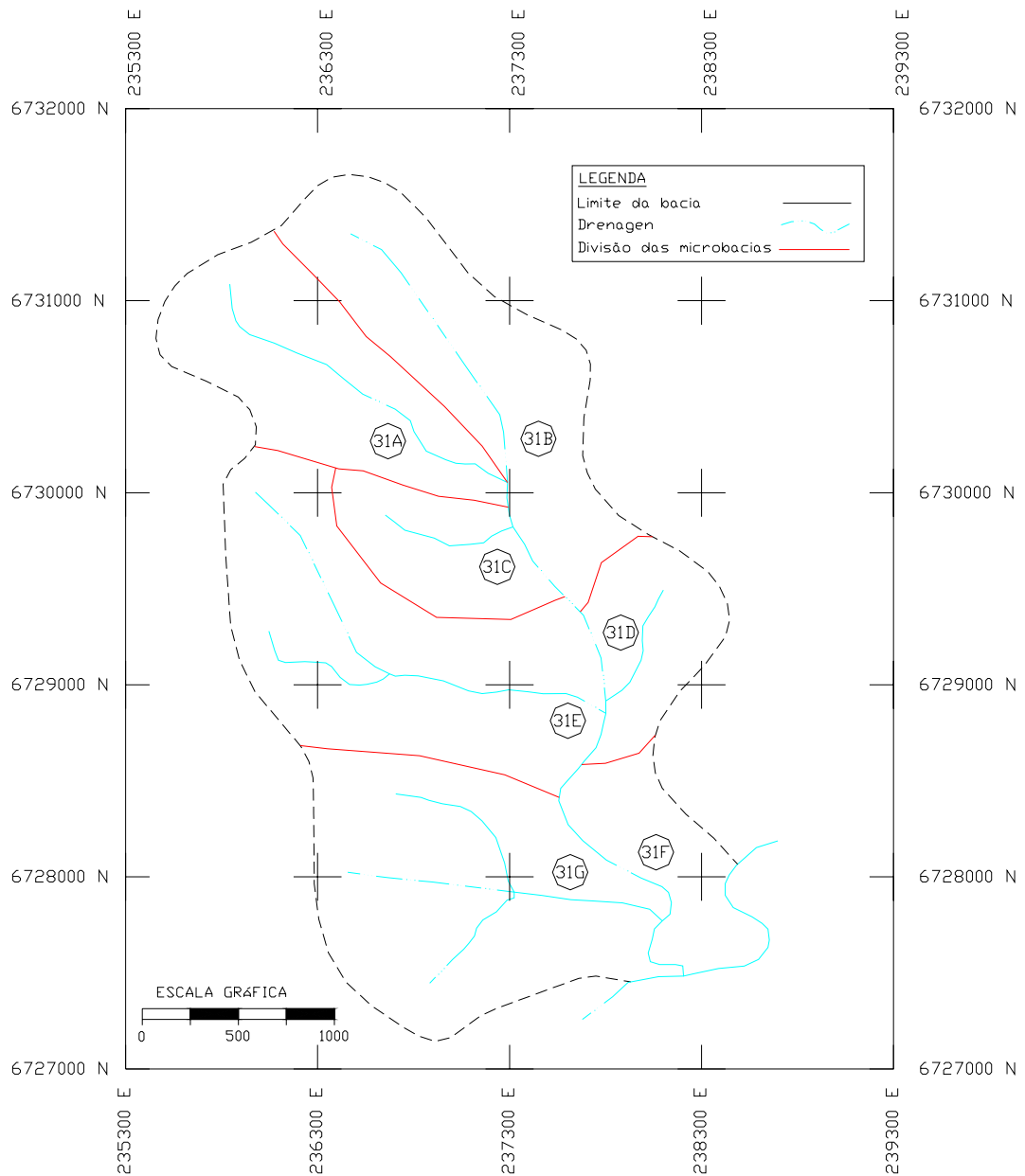


FIGURA 6.8 – Mapa da sub-bacia número 31 com a divisão das 7 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).

Substituindo os dados encontrados, na fórmula 3.14 para a determinação do parâmetro de propagação (**B**), teremos para a sub-bacia número 31 o valor de **B** igual a 1,082; desta forma, este será o parâmetro de propagação utilizado para a região do planalto da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

### 6.2.2. Parâmetro de propagação para a região do Rebordo do Planalto

O cálculo do parâmetro de propagação (**B**) da região do rebordo do Planalto foi obtido pela subdivisão da sub-bacia número 87 em 5 sub-bacias menores, nas quais os fatores **K**, **LS**, **C** e **P** da MUSLE foram considerados homogêneos. O volume escoado e a vazão de pico para cada uma destas sub-bacias, foram contabilizados para a mesma chuva de projeto calculada na sub-bacia 87; o anexo 12 apresenta o cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS (Soil Conservation Service) para cada uma das sub-bacias. A tabela abaixo apresenta os dados utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação nas sub-bacias da sub-bacia número 87.

Os valores de  $Q_s$  e  $q_p$  da tabela 6.2 foram calculados para um período de retorno (TR) de 50 anos, sendo que o valor de **B** não teve variação em função do período de retorno.

QUADRO 6.2. – Dados das sub-bacias utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação (**B**) na sub-bacia número 87.

Microbacia	Dados das sub-bacias							
	$Q_s$ ( $m^3$ )	$q_p$ ( $m^3/s$ )	C. Rio (m)	DN	Decliv. (%)	Vel. (m/s)	Ti (hs)	D50m (mm)
87A	9.497	12,44	2860,0	220,0	7,69	1,30	0,61	0,0879
87B	16.335	17,17	1600,0	160,0	10,00	1,80	0,25	0,0879
87C	21.023	9,65	2860,0	220,0	7,69	1,50	0,53	0,0879
87D	10.279	16,71	544,0	60,0	11,03	2,00	0,08	0,0879
87E	20.242	15,30	1048,0	90,0	8,59	1,50	0,19	0,0879
87	77.377	27,00					<b>B=</b>	<b>3,772</b>

LEGENDA:  $Q_s$  é a volume escoado em metros cúbicos;  $q_p$  é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; C. Rio é o comprimento do rio em metros; DN é a diferença de nível em metros; Decliv. é a declividade em porcentagem; Vel. é a velocidade em metros por segundo; Ti é o tempo de percurso em horas; D50m é o diâmetro médio do grão referente a 50% do diâmetro das partículas em termos de peso. Os dados das colunas 4, 5, 6, 7 e 8 referem-se ao percurso da microbacia até o exutório da sub-bacia 87; **B** é o parâmetro de propagação.

A figura abaixo mostra a sub-bacia número 87 com a divisão interna das sub-bacias.

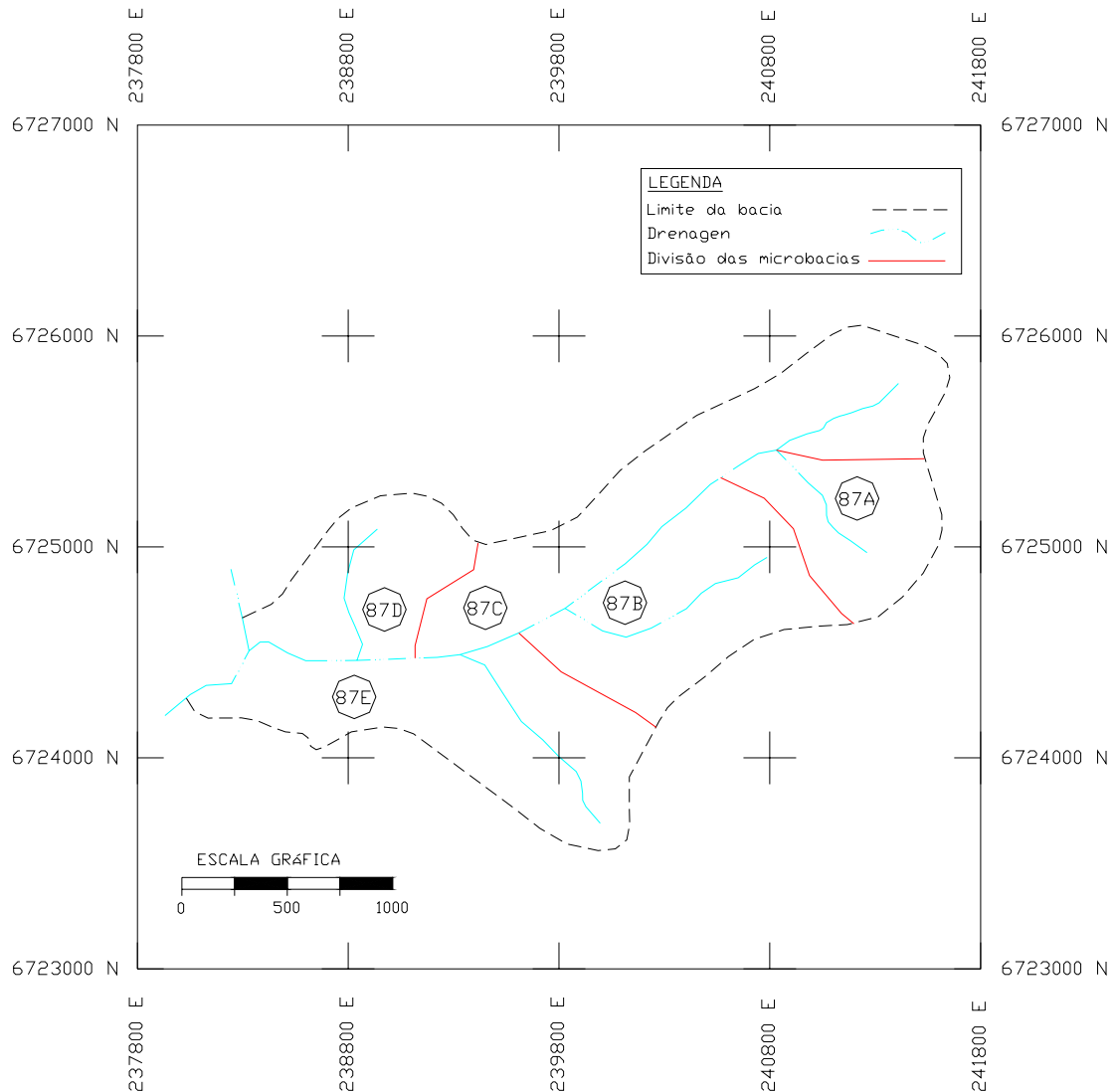


FIGURA 6.9 – Mapa da sub-bacia número 87 com a divisão das 5 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).

Substituindo os dados encontrados, na fórmula 3.14 para a determinação do parâmetro de propagação (B), teremos para a sub-bacia número 87 o valor de B igual a 3,772; desta forma, este será o parâmetro de propagação utilizado para a região do rebordo do planalto da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

### 6.2.3. Parâmetro de propagação para a região da Depressão Central

O cálculo do parâmetro de propagação (**B**) para a depressão central foi obtido pela subdivisão da sub-bacia número 68 em 8 sub-bacias menores, nas quais os fatores **K**, **LS**, **C** e **P** da MUSLE foram considerados homogêneos. O volume escoado e a vazão de pico para cada uma destas sub-bacias, foram contabilizados para a mesma chuva de projeto calculada na sub-bacia 68; o anexo 13 apresenta o cálculo da vazão de pico e do volume escoado pelo método do SCS (Soil Conservation Service) para cada uma das sub-bacias. A tabela abaixo apresenta os dados utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação nas sub-bacias da sub-bacia número 68.

Os valores de  $Q_s$  e  $q_p$  da tabela 6.3 foram calculados para um período de retorno (TR) de 50 anos, sendo que o valor de **B** não teve variação em função do período de retorno.

QUADRO 6.3. – Dados das sub-bacias utilizados para o cálculo do parâmetro de propagação (**B**) na sub-bacia número 68.

Microbacia	Dados das sub-bacias							
	$Q_s$ ( $m^3$ )	$q_p$ ( $m^3/s$ )	C. Rio (m)	DN	Decliv. (%)	Vel. (m/s)	Ti (hs)	D50m (mm)
68A	24.706	20,08	8201,0	50,0	0,61	0,60	3,80	0,0751
68B	14.1316	25,61	4400,0	20,0	0,45	0,60	2,04	0,0751
68C	125.184	44,54	4400,0	20,0	0,45	0,60	2,04	0,0751
68D	43.142	35,17	4300,0	20,0	0,47	0,60	1,99	0,0751
68E	55.126	37,55	4100,0	20,0	0,49	0,60	1,90	0,0751
68F	64.805	28,21	3289,0	20,0	0,61	0,60	1,52	0,0751
68G	174.040	43,87	1867,0	10,0	0,54	0,60	0,86	0,0751
68H	141.776	30,37	785,0	5,0	0,64	0,60	0,36	0,0751
68	770.097	98,23					B=	0,683

LEGENDA:  $Q_s$  é a volume escoado em metros cúbicos;  $q_p$  é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; C. Rio é o comprimento do rio em metros; DN é a diferença de nível em metros; Decliv. é a declividade em percentagem; Vel. é a velocidade em metros por segundo; Ti é o tempo de percurso em horas; D50m é o diâmetro médio do grão referente a 50% do diâmetro das partículas em termos de peso. Os dados das colunas 4, 5, 6, 7 e 8 referem-se ao percurso da microbacia até o exutório da sub-bacia 68; **B** é o parâmetro de propagação.

A figura a seguir mostra a sub-bacia número 68 com a divisão interna das sub-bacias.

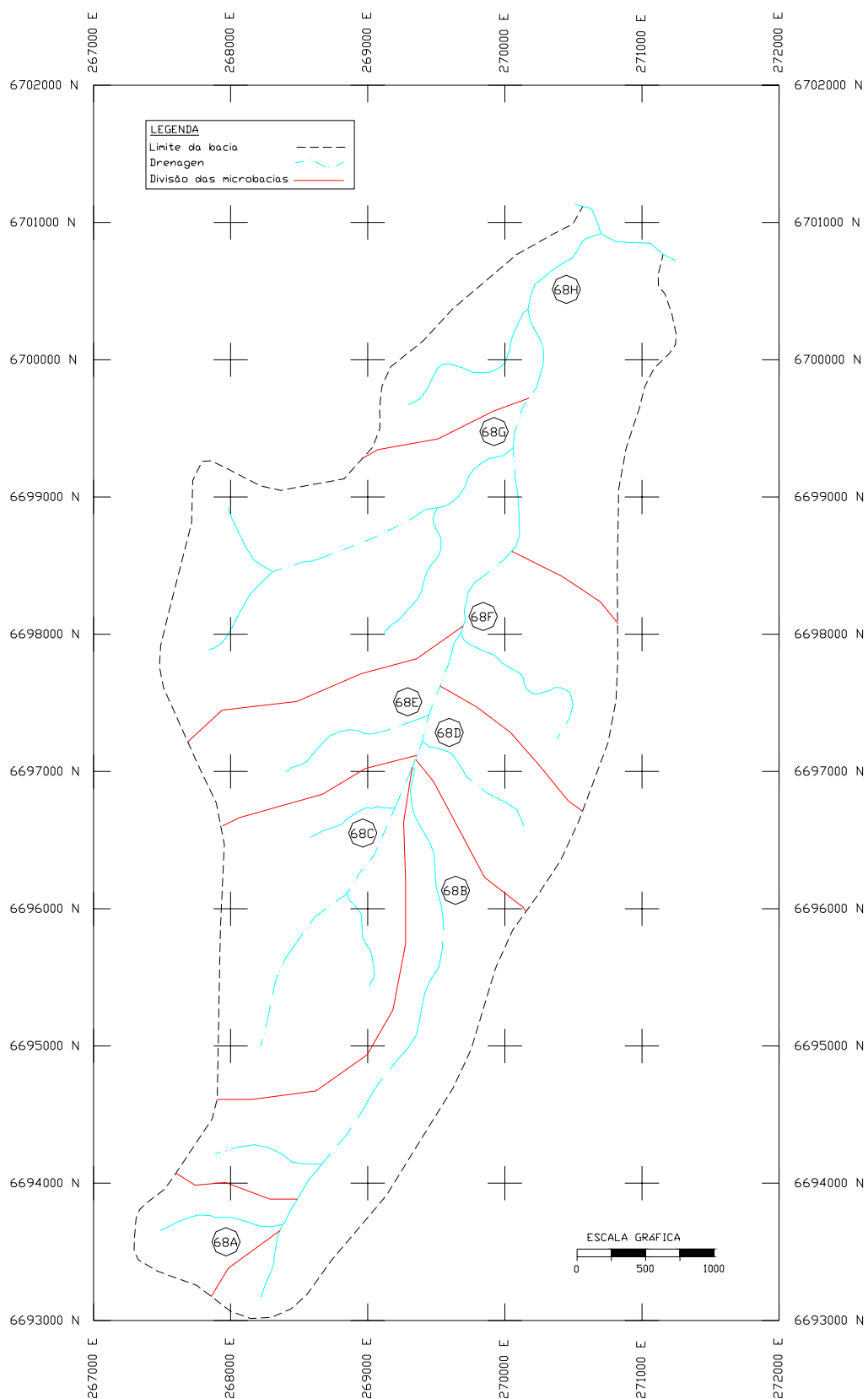


FIGURA 6.10 – Mapa da sub-bacia número 68 com a divisão das 8 sub-bacias definidas para o estudo do parâmetro de propagação (sistema de coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre).

Substituindo os dados encontrados, na fórmula 3.14 para a determinação do parâmetro de propagação (B), teremos para a sub-bacia número 68 o valor de B igual a 0,683; desta forma, este será o parâmetro de propagação utilizado para a região da depressão central da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

### **6.3. Aplicação do modelo de Williams (1975)**

Logo após o cálculo da perda potencial de sedimentos para a cheia considerada através da aplicação da MUSLE, totalizou-se para a bacia inteira, propagando as perdas de sedimentos de cada sub-bacia utilizando a metodologia de propagação proposta por WILLIAMS (1975), dada pela equação 3.12.

Inicialmente foram calculadas as características do escoamento em cada sub-bacia estudada, em função dos períodos de retorno de 2, 3, 10, 20 e 50 anos.

Os valores utilizados dos fatores K e LS para a aplicação da MUSLE foram calculados como descreve a metodologia de Bertoni Lombardi Neto (1985), porém os fatores C e P foram adotados segundo os critérios relacionados a classificação digital supervisionada da imagem LANDSAT tm7. Para a bacia do Rio Vacacaí-Mirim, as classes de uso do solo e cobertura vegetal são limitadas às classes determinadas na classificação da imagem de satélite, sendo: arroz, água, campo nativo, agricultura, floresta nativa, banhado, área urbana e floresta implantada.

Os valores de K, LS, C e P calculados para cada sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim, foram obtidos a partir da média ponderal da área de cada um dos fatores dentro das respectivas sub-bacias.

O quadro 6.4 apresenta as características do escoamento nas bacias, em função do período de retorno e os respectivos fatores da MUSLE obtidos. O quadro 6.5 apresenta os valores adotados de C e P para as classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim. Nestes quadros a sub-bacia de número 56, apesar de fazer parte da bacia do Rio Vacacaí-Mirim, foi desconsiderada porque tem escoamento direto no rio Jacuí.



QUADRO 6.4 – Características do escoamento nas sub-bacias em função do período de retorno.

SB	Área (km <sup>2</sup> )	LP	TP	D50m	K	LS	C	P	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos	
									Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp
1 <sup>C</sup>	14,52	80.169	37,12	0,0893	0,0554	1,95	0,0035	0,7283	717.058	107,55	867.476	130,11	1.461.831	219,26	1.925.895	288,87	2.711.351	406,68
2 <sup>C</sup>	7,29	77.381	35,82	0,0860	0,0420	1,86	0,0028	0,8077	360.241	57,14	435.809	69,12	734.405	116,48	967.545	153,46	1.362.148	216,05
3 <sup>C</sup>	5,66	80.878	37,44	0,0827	0,0416	2,26	0,0028	0,8112	279.772	35,41	338.460	42,83	570.358	72,18	751.420	95,09	1.057.879	133,87
4 <sup>C</sup>	51,49	69.378	32,12	0,0809	0,0553	3,38	0,0027	0,8217	2.543.511	410,40	3.077.067	496,49	5.185.332	836,67	6.831.437	1102,27	9.617.565	1551,82
5 <sup>C</sup>	7,33	73.871	34,20	0,0717	0,0424	0,83	0,0026	0,8253	361.841	64,52	437.745	78,06	737.668	131,54	971.843	173,30	1.368.199	243,98
6 <sup>C</sup>	11,20	74.449	34,47	0,0728	0,0387	2,36	0,0024	0,8547	553.054	60,91	669.069	73,68	1.127.483	124,17	1.485.408	163,59	2.091.215	230,30
7 <sup>C</sup>	5,35	92.294	42,73	0,0964	0,0442	0,44	0,0036	0,7191	264.212	29,05	319.636	35,14	538.636	59,22	709.628	78,01	999.043	109,83
8 <sup>C</sup>	23,81	91.343	42,29	0,0759	0,0378	3,26	0,0023	0,8632	1.176.351	118,99	1.423.115	143,95	2.398.168	242,58	3.159.476	319,59	4.448.035	449,93
9 <sup>C</sup>	4,17	90.656	41,97	0,0911	0,0427	0,87	0,0014	0,9605	206.106	87,19	249.341	105,49	420.178	177,76	553.565	234,19	779.331	329,70
10 <sup>C</sup>	29,61	93.375	43,23	0,1116	0,0470	8,39	0,0030	0,7970	1.462.836	162,21	1.769.697	196,24	2.982.212	330,69	3.928.927	435,67	5.531.298	613,36
11 <sup>C</sup>	3,48	84.343	39,05	0,0720	0,0392	1,62	0,0026	0,8272	171.651	29,76	207.659	36,01	349.937	60,68	461.026	79,94	649.050	112,55
12 <sup>C</sup>	44,10	50.062	23,18	0,0758	0,0419	1,38	0,0022	0,8663	2.178.382	128,93	2.635.345	155,97	4.440.961	262,83	5.850.763	346,27	8.236.934	487,50
13 <sup>C</sup>	5,31	53.225	24,64	0,1082	0,0619	0,40	0,0038	0,6941	262.123	41,83	317.108	50,60	534.376	85,27	704.016	112,34	991.142	158,16
14 <sup>C</sup>	20,72	48.939	22,66	0,0928	0,0423	1,07	0,0054	0,5095	1.023.549	46,57	1.238.261	56,34	2.086.660	94,95	2.749.079	125,09	3.870.261	176,10
15 <sup>C</sup>	14,50	35.815	16,58	0,0718	0,0352	3,21	0,0021	0,9150	716.480	83,86	866.777	101,46	1.460.653	170,97	1.924.343	225,24	2.709.166	317,10
16 <sup>C</sup>	4,41	47.566	22,02	0,0769	0,0364	0,41	0,0029	0,7982	217.887	40,50	263.594	49,00	444.196	82,57	585.208	108,78	823.878	153,15
17 <sup>C</sup>	4,66	60.956	28,22	0,0959	0,0610	0,84	0,0022	0,8854	230.335	37,95	278.653	45,91	469.573	77,37	618.641	101,93	870.947	143,51
18 <sup>C</sup>	5,06	65.621	30,38	0,1136	0,0573	1,96	0,0031	0,7890	249.719	59,95	302.103	72,53	509.090	122,22	670.702	161,02	944.241	226,69
19 <sup>C</sup>	19,61	67.828	31,40	0,0766	0,0447	1,21	0,0017	0,9199	968.689	106,52	1.171.892	128,87	1.974.818	217,17	2.601.732	286,11	3.662.821	402,79
20 <sup>C</sup>	19,69	61.175	28,32	0,0829	0,0451	1,29	0,0021	0,8872	972.601	80,47	1.176.625	97,35	1.982.794	164,06	2.612.240	216,14	3.677.614	304,29
21 <sup>C</sup>	6,56	62.205	28,80	0,0899	0,0465	0,60	0,0029	0,7942	324.230	20,84	392.244	25,21	660.992	42,48	870.826	55,97	1.225.983	78,80
22 <sup>C</sup>	22,65	52.016	24,08	0,0792	0,0659	0,97	0,0026	0,8302	1.118.778	109,07	1.353.465	131,95	2.280.797	222,35	3.004.846	292,94	4.230.340	412,41
23 <sup>B</sup>	0,85	113.329	52,47	0,1268	0,0153	7,66	0,0017	0,9705	41.835	100,40	50.610	121,46	85.286	204,67	112.361	269,65	158.186	379,62
24 <sup>B</sup>	2,34	110.620	51,21	0,1266	0,0305	7,89	0,0018	0,9535	115.634	87,91	139.891	106,35	235.738	179,22	310.574	236,12	437.239	332,41
25 <sup>A</sup>	0,89	119.077	55,13	0,1110	0,0201	8,67	0,0018	0,9973	44.058	48,15	53.300	58,26	89.818	98,17	118.331	129,33	166.591	182,08
26 <sup>B</sup>	36,72	107.438	49,74	0,1138	0,0261	12,41	0,0018	0,9741	1.813.829	170,01	2.194.319	205,67	3.697.765	346,59	4.871.635	456,61	6.858.480	642,84
27 <sup>A</sup>	0,82	118.081	54,67	0,1276	0,0140	8,60	0,0015	1,0000	40.368	50,26	48.836	60,80	82.295	102,46	108.420	134,98	152.639	190,03
28 <sup>B</sup>	2,63	111.857	51,79	0,1254	0,0163	15,44	0,0015	0,9966	129.950	67,34	157.210	81,46	264.922	137,28	349.023	180,86	491.368	254,62
29 <sup>A</sup>	10,97	123.944	57,38	0,0936	0,0322	1,10	0,0501	0,5018	541.894	101,04	655.567	122,23	1.104.732	205,98	1.455.434	271,37	2.049.017	382,05
30 <sup>C</sup>	27,59	95.962	44,43	0,0820	0,0565	0,50	0,0118	0,8207	1.362.584	118,91	1.648.415	143,85	2.777.833	242,41	3.659.667	319,37	5.152.223	449,62

LEGENDA: TR é o período de retorno; SB é a sub-bacia; LP é o comprimento do trajeto do exutório da sub-bacia até a saída da bacia principal, em metros; TP é o tempo de percurso, em horas; Qs é o volume escoado em metros cúbicos; qp é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Reborço do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; K, LS, C e P são os fatores da MUSLE; D50m é o diâmetro médio do grão.

SB	Área (km <sup>2</sup> )	LP	TP	D50m	K	LS	C	P	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos	
									Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp
31 <sup>A</sup>	8,04	120.746	55,90	0,1125	0,0281	4,32	0,0250	0,7675	397.141	69,64	480.449	84,25	809.631	141,98	1.066.652	187,05	1.501.674	263,34
32 <sup>A</sup>	41,75	112.526	52,10	0,1245	0,0220	16,19	0,0127	0,8820	2.062.215	274,82	2.494.808	332,47	4.204.135	560,26	5.538.755	738,12	7.797.678	1039,15
33 <sup>A</sup>	0,66	122.031	56,50	0,1677	0,0298	6,76	0,0012	0,9973	32.365	30,77	39.154	37,22	65.981	62,72	86.927	82,63	122.380	116,33
34 <sup>A</sup>	2,63	102.604	47,50	0,0860	0,0376	4,02	0,0021	0,9002	130.083	184,60	157.371	223,32	265.194	376,33	349.381	495,80	491.873	698,00
35 <sup>B</sup>	2,10	103.814	48,06	0,1027	0,0417	4,52	0,0028	0,8190	103.809	84,21	125.585	101,87	211.630	171,67	278.812	226,16	392.523	318,40
36 <sup>B</sup>	5,21	100.325	46,45	0,1100	0,0313	6,44	0,0022	0,8992	257.277	74,84	311.246	90,54	524.497	152,58	691.001	201,01	972.819	282,99
37 <sup>C</sup>	10,55	95.213	44,08	0,0984	0,0546	3,56	0,0039	0,6934	521.044	169,50	630.344	205,05	1.062.227	345,55	1.399.435	455,24	1.970.180	640,91
38 <sup>C</sup>	25,66	98.683	45,69	0,1191	0,0442	8,83	0,0032	0,7795	1.267.355	203,12	1.533.210	245,73	2.583.695	414,08	3.403.900	545,54	4.792.144	768,03
39 <sup>B</sup>	44,34	98.322	45,52	0,1121	0,0314	16,15	0,0019	0,9255	2.190.075	227,11	2.649.490	274,75	4.464.798	463,00	5.882.166	609,98	8.281.145	858,76
40 <sup>B</sup>	32,69	104.970	48,60	0,1113	0,0286	18,91	0,0017	0,9519	1.614.614	187,31	1.953.314	226,61	3.291.635	381,87	4.336.578	503,09	6.105.205	708,27
41 <sup>C</sup>	72,65	100.510	46,53	0,1171	0,0381	13,43	0,0062	0,9404	3.588.536	422,90	4.341.308	511,61	7.315.772	862,14	9.638.194	1135,82	13.569.028	1599,06
42 <sup>B</sup>	0,72	106.282	49,20	0,1249	0,0306	11,69	0,0015	0,9889	35.566	95,44	43.027	115,46	72.507	194,57	95.525	256,34	134.483	360,88
43 <sup>C</sup>	34,51	83.784	38,79	0,1019	0,0512	6,44	0,0031	0,7815	1.704.775	167,54	2.062.388	202,68	3.475.440	341,55	4.578.733	449,97	6.446.121	633,49
44 <sup>C</sup>	5,72	95.962	44,43	0,1345	0,0575	0,30	0,0063	0,4196	282.484	170,55	341.741	206,33	575.887	347,70	758.704	458,08	1.068.134	644,90
45 <sup>C</sup>	2,94	22.806	10,56	0,0711	0,0328	0,65	0,0028	0,8127	145.021	26,90	175.442	32,54	295.647	54,84	389.502	72,24	548.356	101,71
46 <sup>C</sup>	1,73	22.026	10,20	0,0711	0,0348	0,51	0,0019	0,9116	85.670	21,34	103.641	25,82	174.651	43,51	230.095	57,32	323.937	80,70
47 <sup>C</sup>	2,17	20.425	9,46	0,0740	0,0344	0,48	0,0016	0,9519	107.143	30,37	129.619	36,74	218.427	61,92	287.768	81,58	405.131	114,84
48 <sup>C</sup>	4,25	19.716	9,13	0,0731	0,0357	1,20	0,0024	0,8485	209.796	37,13	253.805	44,92	427.700	75,69	563.476	99,72	793.283	140,39
49 <sup>C</sup>	3,53	24.418	11,30	0,1327	0,0506	0,45	0,0040	0,6761	174.319	47,24	210.886	57,15	355.375	96,31	468.190	126,88	659.136	178,62
50 <sup>C</sup>	2,18	27.274	12,63	0,1294	0,0391	0,39	0,0016	0,9562	107.543	62,13	130.103	75,16	219.243	126,66	288.843	166,87	406.644	234,93
51 <sup>C</sup>	5,42	27.997	12,96	0,0711	0,0347	0,52	0,0049	0,5715	267.546	32,67	323.670	39,52	545.434	66,60	718.584	87,74	1.011.651	123,52
52 <sup>C</sup>	6,18	23.518	10,89	0,0713	0,0343	0,80	0,0041	0,6564	305.024	48,99	369.010	59,27	621.838	99,88	819.243	131,59	1.153.362	185,26
53 <sup>C</sup>	8,39	25.412	11,76	0,0715	0,0356	0,51	0,0034	0,7303	414.657	44,96	501.640	54,39	845.341	91,65	1.113.697	120,74	1.567.907	169,99
54 <sup>C</sup>	6,01	14.060	6,51	0,1536	0,0409	2,63	0,0020	0,9007	296.622	69,09	358.844	83,58	604.708	140,85	796.675	185,57	1.121.591	261,25
55 <sup>C</sup>	3,67	14.496	6,71	0,0756	0,0367	1,01	0,0013	0,9757	181.343	55,46	219.383	67,10	369.695	113,07	487.056	148,97	685.697	209,72
57 <sup>C</sup>	4,05	13.869	6,42	0,0859	0,0405	0,89	0,0027	0,8192	199.837	40,64	241.757	49,16	407.399	82,84	536.729	109,14	755.628	153,65
58 <sup>C</sup>	15,07	10.292	4,76	0,1117	0,0529	0,49	0,0047	0,6000	744.177	154,89	900.284	187,38	1.517.118	315,77	1.998.733	416,01	2.813.895	585,67
59 <sup>C</sup>	15,54	5.441	2,52	0,1170	0,0604	0,33	0,0045	0,5982	767.384	63,24	928.360	76,51	1.564.428	128,93	2.061.063	169,85	2.901.645	239,13
60 <sup>C</sup>	6,42	19.245	8,91	0,1366	0,0502	0,49	0,0054	0,5190	316.894	36,82	383.370	44,55	646.037	75,07	851.124	98,90	1.198.246	139,23
61 <sup>C</sup>	22,89	6.671	3,09	0,1193	0,0521	1,05	0,0055	0,5110	1.130.604	69,63	1.367.772	84,24	2.304.906	141,95	3.036.608	187,02	4.275.056	263,29
62 <sup>C</sup>	3,47	16.823	7,79	0,0772	0,0374	0,93	0,0025	0,8347	171.429	42,34	207.390	51,22	349.484	86,31	460.429	113,71	648.209	160,09
63 <sup>C</sup>	3,56	17.709	8,20	0,1382	0,0503	1,14	0,0030	0,7755	176.052	212,15	212.983	256,66	358.909	432,51	472.847	569,81	665.692	802,20

LEGENDA: TR é o período de retorno; SB é a sub-bacia; LP é o comprimento do trajeto do exutório da sub-bacia até a saída da bacia principal, em metros; TP é o tempo de percurso, em horas; Qs é o volume escoado em metros cúbicos; qp é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Rebordo do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; K, LS, C e P são os fatores da MUSLE; D50m é o diâmetro médio do grão.

SB	Área (km <sup>2</sup> )	LP	TP	D50m	K	LS	C	P	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos	
									Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp	Qs	qp
64 <sup>C</sup>	4,41	43767	20,26	0,0720	0,0332	3,1487	0,0032	0,7731	217.665	69,28	263.325	83,81	443.743	141,23	584.611	186,07	823.038	261,95
65 <sup>C</sup>	7,38	44068	20,40	0,0830	0,0395	0,5459	0,0026	0,8278	364.731	54,16	441.241	65,52	743.559	110,42	979.605	145,47	1.379.126	204,80
66 <sup>C</sup>	0,72	40842	18,91	0,0916	0,0398	1,0656	0,0027	0,8284	35.655	43,22	43.134	52,29	72.688	88,11	95.763	116,08	134.820	163,43
67 <sup>C</sup>	3,32	41824	19,36	0,0862	0,0406	1,0656	0,0030	0,7850	164.004	61,02	198.408	73,82	334.348	124,40	440.488	163,89	620.136	230,72
68 <sup>C</sup>	16,71	41188	19,07	0,0739	0,0372	3,3799	0,0063	0,8988	825.313	105,27	998.440	127,35	1.682.524	214,60	2.216.648	282,73	3.120.685	398,04
69 <sup>C</sup>	0,93	119838	55,48	0,1199	0,0175	9,4015	0,0107	0,9005	45.703	81,45	55.290	98,54	93.171	166,05	122.749	218,76	172.811	307,98
70 <sup>A</sup>	118,60	49484	22,91	0,0988	0,0426	10,0895	0,0027	0,8306	5.858.457	276,88	7.087.394	334,96	11.943.348	564,47	15.734.813	743,66	22.152.088	1046,95
71 <sup>A</sup>	19,08	122740	56,82	0,1558	0,0290	4,8640	0,0115	0,8796	942.459	128,95	1.140.160	156,00	1.921.344	262,89	2.531.283	346,35	3.563.639	487,60
72 <sup>B</sup>	2,49	117794	54,53	0,1180	0,0170	12,3993	0,0158	0,8670	123.192	86,43	149.034	104,56	251.146	176,20	330.873	232,14	465.817	326,82
73 <sup>C</sup>	1,48	39340	18,21	0,1048	0,0475	1,4932	0,0016	0,9488	73.088	35,05	88.420	42,41	149.002	71,46	196.303	94,15	276.363	132,55
74 <sup>C</sup>	9,92	31964	14,80	0,0726	0,0352	2,2745	0,0023	0,8574	490.013	49,27	592.803	59,60	998.965	100,43	1.316.090	132,32	1.852.844	186,28
75 <sup>C</sup>	1,59	33457	15,49	0,0711	0,0351	1,7330	0,0022	0,8739	78.557	71,75	95.036	86,80	160.150	146,28	210.990	192,72	297.040	271,31
76 <sup>C</sup>	9,50	28477	13,18	0,0722	0,0355	0,9799	0,0046	0,6035	469.384	61,18	567.848	74,02	956.911	124,73	1.260.686	164,33	1.774.843	231,35
77 <sup>C</sup>	5,11	29679	13,74	0,1027	0,0407	0,6261	0,0019	0,8948	252.208	85,12	305.115	102,98	514.165	173,54	677.389	228,63	953.655	321,87
78 <sup>C</sup>	3,76	32108	14,86	0,1124	0,0496	0,4583	0,0044	0,6233	185.522	33,32	224.439	40,31	378.214	67,93	498.280	89,49	701.498	125,99
79 <sup>C</sup>	3,23	38695	17,91	0,0822	0,0402	0,7203	0,0146	0,8402	159.736	58,81	193.245	71,14	325.647	119,89	429.025	157,95	603.998	222,37
80 <sup>C</sup>	2,04	37162	17,20	0,0942	0,0436	2,3608	0,0024	0,8531	100.697	40,75	121.820	49,30	205.285	83,07	270.454	109,45	380.756	154,08
81 <sup>C</sup>	4,52	33167	15,36	0,1071	0,0474	1,1001	0,0035	0,7337	223.311	57,41	270.155	69,45	455.253	117,04	599.775	154,19	844.387	217,07
82 <sup>C</sup>	4,07	36678	16,98	0,0958	0,0409	2,4460	0,0031	0,7782	200.993	53,64	243.156	64,89	409.755	109,35	539.833	144,07	759.999	202,82
83 <sup>B</sup>	6,86	109677	50,78	0,1032	0,0259	18,2817	0,0016	0,9793	338.853	124,82	409.935	151,01	690.804	254,47	910.102	335,26	1.281.277	471,99
84 <sup>B</sup>	0,83	111189	51,48	0,1229	0,0341	5,9794	0,0018	0,9493	40.768	69,11	49.320	83,60	83.111	140,88	109.495	185,61	154.151	261,30
85 <sup>B</sup>	21,08	107742	49,88	0,0903	0,0332	6,2697	0,0027	0,9073	1.041.333	120,09	1.259.774	145,28	2.122.913	244,81	2.796.841	322,53	3.937.503	454,07
86 <sup>A</sup>	11,70	116368	53,87	0,1256	0,0278	4,1773	0,0038	0,9557	577.772	87,95	698.972	106,40	1.177.876	179,30	1.551.797	236,22	2.184.681	332,56
87 <sup>B</sup>	3,96	115900	53,66	0,0868	0,0252	11,1825	0,0022	0,9646	195.658	68,26	236.702	82,58	398.879	139,16	525.505	183,34	739.826	258,11
88 <sup>C</sup>	13,50	85362	39,52	0,0793	0,0389	2,8144	0,0020	0,8927	666.599	110,84	806.432	134,09	1.358.962	225,96	1.790.370	297,69	2.520.553	419,09
89 <sup>C</sup>	5,65	82897	38,38	0,0711	0,0376	2,7724	0,0018	0,9197	279.066	46,61	337.606	56,39	568.918	95,03	749.523	125,20	1.055.208	176,26
90 <sup>C</sup>	1,17	45629	21,12	0,0711	0,0333	1,4399	0,0038	0,7057	58.017	37,30	70.188	45,12	118.277	76,04	155.825	100,18	219.376	141,03
91 <sup>C</sup>	3,93	45975	21,28	0,0760	0,0358	1,0625	0,0044	0,6258	193.969	40,25	234.658	48,69	395.435	82,05	520.967	108,10	733.438	152,19
92 <sup>B</sup>	1,60	114163	52,85	0,1158	0,0170	7,5363	0,0015	0,9838	79.001	78,27	95.574	94,69	161.056	159,57	212.184	210,23	298.721	295,97
93 <sup>B</sup>	0,97	112813	52,23	0,1232	0,0338	9,4370	0,0019	0,9376	47.973	62,27	58.036	75,33	97.800	126,94	128.847	167,24	181.397	235,45

LEGENDA: TR é o período de retorno; SB é a sub-bacia; LP é o comprimento do trajeto do exutório da sub-bacia até a saída da bacia principal, em metros; TP é o tempo de percurso, em horas; Qs é o volume escoado em metros cúbicos; qp é a vazão de pico em metros cúbicos por segundo; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Rebordo do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; K, LS, C e P são os fatores da MUSLE; D50m é o diâmetro médio do grão.

QUADRO 6.5 – Valores de *C* e *P* adotados nas classes de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

<b>Uso</b>	<b>Fator C</b>	<b>Fator P</b>
<i>Arroz</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>
<i>Água</i>	<i>0,0</i>	<i>1,0</i>
<i>Campo nativo</i>	<i>0,001</i>	<i>1,0</i>
<i>Agricultura</i>	<i>0,10</i>	<i>0,1</i>
<i>Floresta nativa</i>	<i>0,0015</i>	<i>1,0</i>
<i>Banhado</i>	<i>0,001</i>	<i>1,0</i>
<i>Área Urbana</i>	<i>0,002</i>	<i>1,0</i>
<i>Floresta implantada</i>	<i>0,09</i>	<i>0,1</i>

Para áreas não agrícolas, adotou-se valor de *P* igual a 1,0, considerando que não existem práticas conservacionistas nestas classes de uso. SANTOS, L. et al. (1999) apresenta valores adotados em classificação de imagem de satélite para a avaliação de perdas de solo na bacia do Rio Ivaí – PR, conforme o quadro abaixo.

QUADRO 6.6 – Valores de *C* adotados para áreas não agrícolas na bacia do Rio Ivaí.

<b>USO DO SOLO</b>	<b>C adotado</b>
<i>Mata</i>	<i>0,0010</i>
<i>Reflorestamento</i>	<i>0,01</i>
<i>Campos/capoeiras</i>	<i>0,03</i>
<i>Várzea</i>	<i>0,0001</i>

A partir dos valores de *Q<sub>s</sub>* e *q<sub>p</sub>* calculados para cada período de retorno (TR) considerado, foi obtida a produção de sedimentos em cada sub-bacia e também a parcela propagada até o exutório da bacia.

QUADRO 6.7 – Produção de sedimentos por sub-bacia em função do período de retorno.

SB	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos		YT (t/ano)
	Y	YP	Y	YP	Y	YP	Y	YP	Y	YP	
1 <sup>C</sup>	645	3,05E-01	798	3,84E-01	1.433	7,18E-01	1.951	9,95E-01	2.861	1,49E+00	323.664
2 <sup>C</sup>	199	1,40E-01	246	1,77E-01	441	3,30E-01	600	4,58E-01	881	6,83E-01	99.607
3 <sup>C</sup>	158	9,28E-02	195	1,17E-01	350	2,19E-01	476	3,03E-01	699	4,52E-01	79.020
4 <sup>C</sup>	4.128	7,43E+00	5.110	9,36E+00	9.167	1,75E+01	12.483	2,42E+01	18.310	3,62E+01	2.071.109
5 <sup>C</sup>	91	1,61E-01	112	2,02E-01	201	3,78E-01	274	5,24E-01	402	7,83E-01	45.428
6 <sup>C</sup>	272	4,37E-01	337	5,51E-01	604	1,03E+00	823	1,43E+00	1.207	2,13E+00	136.519
7 <sup>C</sup>	32	3,48E-03	40	4,38E-03	72	8,19E-03	98	1,14E-02	144	1,70E-02	16.263
8 <sup>C</sup>	789	2,55E-01	977	3,22E-01	1.753	6,02E-01	2.387	8,34E-01	3.501	1,25E+00	395.963
9 <sup>C</sup>	53	8,52E-03	65	1,07E-02	117	2,01E-02	160	2,78E-02	234	4,15E-02	26.473
10 <sup>C</sup>	4.127	1,98E-01	5.108	2,49E-01	9.163	4,66E-01	12.478	6,46E-01	18.304	9,64E-01	2.070.350
11 <sup>C</sup>	70	5,06E-02	87	6,38E-02	156	1,19E-01	213	1,65E-01	312	2,47E-01	35.288
12 <sup>C</sup>	539	6,36E+00	668	8,01E+00	1.198	1,50E+01	1.631	2,08E+01	2.393	3,10E+01	270.618
13 <sup>C</sup>	51	1,85E-01	63	2,33E-01	113	4,36E-01	154	6,04E-01	226	9,03E-01	25.565
14 <sup>C</sup>	225	1,86E+00	278	2,34E+00	499	4,38E+00	680	6,07E+00	997	9,07E+00	112.795
15 <sup>C</sup>	450	1,99E+01	557	2,51E+01	998	4,69E+01	1.360	6,50E+01	1.994	9,70E+01	225.579
16 <sup>C</sup>	24	3,37E-01	29	4,25E-01	53	7,94E-01	72	1,10E+00	105	1,64E+00	11.870
17 <sup>C</sup>	68	1,60E-01	84	2,01E-01	151	3,76E-01	205	5,21E-01	301	7,79E-01	34.036
18 <sup>C</sup>	254	2,16E-01	315	2,72E-01	565	5,08E-01	770	7,04E-01	1.129	1,05E+00	127.683
19 <sup>C</sup>	238	5,80E-01	295	7,31E-01	529	1,37E+00	720	1,89E+00	1.057	2,83E+00	119.517
20 <sup>C</sup>	251	8,84E-01	311	1,11E+00	558	2,08E+00	760	2,89E+00	1.115	4,31E+00	126.074
21 <sup>C</sup>	39	9,80E-02	48	1,23E-01	86	2,31E-01	117	3,20E-01	172	4,78E-01	19.443
22 <sup>C</sup>	413	3,71E+00	511	4,68E+00	917	8,74E+00	1.249	1,21E+01	1.832	1,81E+01	207.188
23 <sup>B</sup>	89	2,02E-29	110	2,55E-29	198	4,76E-29	269	6,60E-29	395	9,86E-29	44.672
24 <sup>B</sup>	303	3,98E-28	375	5,02E-28	673	9,38E-28	917	1,30E-27	1.345	1,94E-27	152.164
25 <sup>A</sup>	96	2,06E-07	118	2,60E-07	212	4,85E-07	289	6,72E-07	424	1,00E-06	47.979
26 <sup>B</sup>	2.943	8,89E-25	3.643	1,12E-24	6.535	2,09E-24	8.899	2,90E-24	13.053	4,33E-24	1.476.466
27 <sup>A</sup>	54	3,30E-08	66	4,16E-08	119	7,77E-08	162	1,08E-07	238	1,61E-07	26.889
28 <sup>B</sup>	261	2,22E-28	322	2,80E-28	579	5,23E-28	788	7,24E-28	1.156	1,08E-27	130.722
29 <sup>A</sup>	1.714	8,92E-06	2.122	1,12E-05	3.806	2,10E-05	5.183	2,91E-05	7.603	4,35E-05	860.005
30 <sup>C</sup>	966	1,50E-01	1.195	1,89E-01	2.145	3,54E-01	2.921	4,90E-01	4.284	7,32E-01	484.575

LEGENDA: **TR** é o período de retorno; **SB** é a sub-bacia; **Y** é a produção de sedimentos na sub-bacia para o evento em toneladas; **YP** é a parcela da produção de sedimentos da sub-bacia, propagada para a saída da bacia principal; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Reborde do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; **YT** é a produção total de cada sub-bacia em t/ano.

SB	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos		YT
	Y	YP	Y	YP	Y	(t/ano)	Y	YP	Y	YP	(t/ano)
31 <sup>A</sup>	3.076	4,38E-06	3.807	5,52E-06	6.830	1,03E-05	9.301	1,43E-05	13.642	2,13E-05	1.543.109
32 <sup>A</sup>	28.479	6,08E-05	35.249	7,66E-05	63.239	1,43E-04	86.116	1,98E-04	126.318	2,96E-04	14.287.913
33 <sup>A</sup>	49	6,11E-10	61	7,70E-10	109	1,44E-09	149	1,99E-09	218	2,98E-09	24.676
34 <sup>A</sup>	341	2,32E-02	422	2,92E-02	756	5,45E-02	1.030	7,56E-02	1.511	1,13E-01	170.854
35 <sup>B</sup>	299	1,61E-23	370	2,03E-23	664	3,79E-23	904	5,26E-23	1.325	7,85E-23	149.921
36 <sup>B</sup>	421	2,25E-23	521	2,84E-23	935	5,31E-23	1.273	7,36E-23	1.868	1,10E-22	211.241
37 <sup>C</sup>	1.327	9,71E-02	1.642	1,22E-01	2.946	2,29E-01	4.012	3,17E-01	5.884	4,73E-01	665.587
38 <sup>C</sup>	4.484	8,71E-02	5.550	1,10E-01	9.956	2,05E-01	13.558	2,84E-01	19.888	4,25E-01	2.249.491
39 <sup>B</sup>	6.054	6,13E-22	7.493	7,73E-22	13.443	1,44E-21	18.306	2,00E-21	26.852	2,99E-21	3.037.196
40 <sup>B</sup>	4.466	1,14E-23	5.528	1,44E-23	9.917	2,69E-23	13.505	3,72E-23	19.809	5,56E-23	2.240.635
41 <sup>C</sup>	37.207	6,48E-01	46.052	8,17E-01	82.620	1,53E+00	112.509	2,12E+00	165.032	3,16E+00	18.666.875
42 <sup>B</sup>	216	6,57E-27	267	8,28E-27	479	1,55E-26	652	2,14E-26	956	3,20E-26	108.126
43 <sup>C</sup>	3.886	7,61E-01	4.810	9,59E-01	8.629	1,79E+00	11.751	2,49E+00	17.236	3,71E+00	1.949.629
44 <sup>C</sup>	82	1,11E-03	101	1,40E-03	181	2,61E-03	247	3,61E-03	362	5,40E-03	40.910
45 <sup>C</sup>	21	2,88E+00	26	3,63E+00	48	6,79E+00	65	9,41E+00	95	1,40E+01	10.738
46 <sup>C</sup>	9	1,26E+00	11	1,59E+00	19	2,97E+00	26	4,11E+00	39	6,14E+00	4.393
47 <sup>C</sup>	10	1,56E+00	12	1,96E+00	22	3,66E+00	30	5,08E+00	43	7,58E+00	4.910
48 <sup>C</sup>	57	9,77E+00	71	1,23E+01	127	2,30E+01	173	3,19E+01	254	4,76E+01	28.706
49 <sup>C</sup>	41	2,28E+00	51	2,87E+00	92	5,37E+00	125	7,44E+00	183	1,11E+01	20.683
50 <sup>C</sup>	14	5,65E-01	17	7,12E-01	30	1,33E+00	41	1,85E+00	61	2,76E+00	6.852
51 <sup>C</sup>	35	3,02E+00	43	3,80E+00	77	7,10E+00	105	9,84E+00	154	1,47E+01	17.405
52 <sup>C</sup>	69	8,76E+00	86	1,10E+01	154	2,06E+01	209	2,86E+01	307	4,27E+01	34.735
53 <sup>C</sup>	48	5,19E+00	60	6,55E+00	107	1,22E+01	146	1,70E+01	215	2,53E+01	24.266
54 <sup>C</sup>	213	3,43E+01	263	4,32E+01	472	8,08E+01	643	1,12E+02	943	1,67E+02	106.691
55 <sup>C</sup>	35	9,02E+00	43	1,14E+01	77	2,13E+01	104	2,94E+01	153	4,40E+01	17.336
57 <sup>C</sup>	52	1,32E+01	64	1,67E+01	115	3,12E+01	157	4,32E+01	230	6,45E+01	26.070
58 <sup>C</sup>	216	6,71E+01	268	8,45E+01	480	1,58E+02	654	2,19E+02	959	3,27E+02	108.443
59 <sup>C</sup>	99	5,05E+01	122	6,36E+01	219	1,19E+02	299	1,65E+02	438	2,46E+02	49.568
60 <sup>C</sup>	56	5,44E+00	69	6,85E+00	124	1,28E+01	169	1,77E+01	248	2,65E+01	28.070
61 <sup>C</sup>	363	1,61E+02	449	2,03E+02	805	3,79E+02	1.096	5,26E+02	1.608	7,85E+02	181.892
62 <sup>C</sup>	46	9,65E+00	57	1,22E+01	102	2,27E+01	139	3,15E+01	204	4,71E+01	23.057
63 <sup>C</sup>	210	2,41E+01	260	3,04E+01	466	5,68E+01	634	7,87E+01	930	1,17E+02	105.242

LEGENDA: **TR** é o período de retorno; **SB** é a sub-bacia; **Y** é a produção de sedimentos na sub-bacia para o evento em toneladas; **YP** é a parcela da produção de sedimentos da sub-bacia, propagada para a saída da bacia principal; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Reborço do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; **YT** é a produção total de cada sub-bacia em t/ano.

SB	TR= 2 anos		TR= 3 anos		TR= 10 anos		TR= 20 anos		TR= 50 anos		YT
	Y	YP	Y	YP	Y	(t/ano)	Y	YP	Y	YP	(t/ano)
64 <sup>C</sup>	241	5,43E+00	299	6,84E+00	536	1,28E+01	730	1,77E+01	1.071	2,65E+01	121.090
65 <sup>C</sup>	51	8,42E-01	63	1,06E+00	112	1,98E+00	153	2,75E+00	225	4,10E+00	25.411
66 <sup>C</sup>	25	4,55E-01	30	5,74E-01	55	1,07E+00	74	1,49E+00	109	2,22E+00	12.356
67 <sup>C</sup>	76	1,44E+00	94	1,82E+00	169	3,40E+00	230	4,71E+00	337	7,04E+00	38.140
68 <sup>C</sup>	1.786	4,77E+01	2.211	6,01E+01	3.966	1,12E+02	5.401	1,56E+02	7.923	2,32E+02	896.176
69 <sup>C</sup>	680	1,25E-03	842	1,58E-03	1.510	2,95E-03	2.057	4,09E-03	3.017	6,11E-03	341.206
70 <sup>A</sup>	12.268	8,27E+01	15.185	1,04E+02	27.243	1,95E+02	37.098	2,70E+02	54.417	4,03E+02	6.155.089
71 <sup>A</sup>	4.320	1,16E-07	5.347	1,46E-07	9.593	2,72E-07	13.064	3,77E-07	19.163	5,63E-07	2.167.509
72 <sup>B</sup>	2.234	4,28E-28	2.766	5,39E-28	4.962	1,01E-27	6.757	1,40E-27	9.911	2,09E-27	1.121.060
73 <sup>C</sup>	36	6,00E-01	45	7,56E-01	81	1,41E+00	110	1,96E+00	162	2,92E+00	18.304
74 <sup>C</sup>	197	1,19E+01	243	1,50E+01	437	2,80E+01	594	3,88E+01	872	5,79E+01	98.635
75 <sup>C</sup>	64	3,48E+00	79	4,39E+00	141	8,21E+00	192	1,14E+01	282	1,70E+01	31.871
76 <sup>C</sup>	130	1,06E+01	160	1,34E+01	288	2,50E+01	392	3,47E+01	574	5,18E+01	64.980
77 <sup>C</sup>	51	2,31E+00	63	2,92E+00	113	5,45E+00	154	7,55E+00	225	1,13E+01	25.486
78 <sup>C</sup>	36	1,10E+00	44	1,38E+00	80	2,59E+00	108	3,58E+00	159	5,35E+00	17.978
79 <sup>C</sup>	256	7,06E+00	317	8,90E+00	568	1,66E+01	773	2,31E+01	1.134	3,44E+01	128.323
80 <sup>C</sup>	94	2,35E+00	117	2,97E+00	209	5,54E+00	285	7,68E+00	418	1,15E+01	47.238
81 <sup>C</sup>	114	3,39E+00	141	4,28E+00	253	7,99E+00	345	1,11E+01	506	1,65E+01	57.216
82 <sup>C</sup>	190	4,84E+00	235	6,10E+00	422	1,14E+01	575	1,58E+01	844	2,36E+01	95.423
83 <sup>B</sup>	1.213	2,15E-24	1.501	2,71E-24	2.693	5,07E-24	3.668	7,03E-24	5.380	1,05E-23	608.496
84 <sup>B</sup>	128	3,28E-28	159	4,14E-28	285	7,73E-28	388	1,07E-27	570	1,60E-27	64.441
85 <sup>B</sup>	1.579	4,04E-22	1.954	5,08E-22	3.506	9,51E-22	4.774	1,32E-21	7.003	1,97E-21	792.142
86 <sup>A</sup>	782	7,73E-07	968	9,74E-07	1.737	1,82E-06	2.366	2,52E-06	3.470	3,77E-06	392.491
87 <sup>B</sup>	521	6,02E-24	645	7,58E-24	1.156	1,42E-23	1.575	1,96E-23	2.310	2,93E-23	261.255
88 <sup>C</sup>	454	2,09E-01	562	2,63E-01	1.009	4,92E-01	1.373	6,82E-01	2.015	1,02E+00	227.880
89 <sup>C</sup>	148	1,25E-01	183	1,58E-01	328	2,95E-01	446	4,08E-01	654	6,10E-01	74.025
90 <sup>C</sup>	40	7,92E-01	50	9,98E-01	89	1,87E+00	122	2,58E+00	179	3,86E+00	20.202
91 <sup>C</sup>	68	1,52E-08	84	1,92E-08	151	3,59E-08	205	4,97E-08	301	7,42E-08	34.041
92 <sup>B</sup>	111	4,76E-04	138	6,00E-04	247	1,12E-03	337	1,55E-03	494	2,32E-03	55.888
93 <sup>B</sup>	211	1,84E-28	261	2,31E-28	468	4,33E-28	637	5,99E-28	934	8,95E-28	105.655
<b>TOTAL</b>	<b>139.621</b>	<b>642</b>	<b>172.813</b>	<b>809</b>	<b>310.037</b>	<b>1.513</b>	<b>422.199</b>	<b>2.096</b>	<b>619.294</b>	<b>3.131</b>	<b>70.048.753</b>

LEGENDA: **TR** é o período de retorno; **SB** é a sub-bacia; **Y** é a produção de sedimentos na sub-bacia para o evento em toneladas; **YP** é a parcela da produção de sedimentos da sub-bacia, propagada para a saída da bacia principal; <sup>A</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Planalto; <sup>B</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica do Reborço do Planalto; <sup>C</sup>Sub-bacias representantes da região fisiográfica da Depressão Central; **YT** é a produção total de cada sub-bacia em t/ano.

A produção anual de sedimentos foi calculada a partir da integração da curva de permanência de vazões considerando as frequências de 50%, 33,33%, 10%, 5%, e 2% correspondentes aos períodos de retorno de 2, 3, 10, 20 e 50 anos respectivamente.

QUADRO 6.8 – Produção anual de sedimentos propagados na bacia do Rio Vacacaí-Mirim, sem a erosão do canal principal.

TR	Frequência	Duração (dias)	$\Sigma Y$ (t)	$\Sigma Y$ (t/ano)	Produção propagada do evento (t)	Produção propagada (t/ano)
2	0,500	182,5	139.621	25.480.776	642	117.199
3	0,333	121,7	172.813	21.025.635	809	98.456
10	0,100	36,5	310.037	11.316.357	1.513	55.216
20	0,050	18,3	422.199	7.705.138	2.096	38.257
50	0,020	7,3	619.294	4.520.848	3.131	22.855
<b>TOTAL</b>	<b>1,000</b>			<b>70.048.753</b>	<b>8.191</b>	<b>331.984</b>
<b>Área:</b>					<b>1108,76 Km<sup>2</sup></b>	
<b>Produção total:</b>					<b>63.177,71 t/km<sup>2</sup>/ano</b>	
<b>Propagação total:</b>					<b>299,42 t/km<sup>2</sup>/ano</b>	
<b>Lâmina erodida:</b>					<b>0,113 mm/ ano</b>	

LEGENDA:  $\Sigma Y$  ; é a soma das produções das sub-bacias apresentada em toneladas produzidas no evento, e em toneladas por ano.

Da produção total de 63.177,71 t/km<sup>2</sup>/ano obtida pela soma das produções individuais de cada sub-bacia, foram propagadas 299,42 t/km<sup>2</sup>/ano, equivalendo a uma lâmina erodida de 0,113 mm/ano, até o exutório da bacia principal, ou seja, do potencial total de produção da bacia, apenas 0,5% chega até o seu exutório. Esse valor parece bastante razoável, PAIVA *et al.* (2000) na avaliação da produção de sedimentos de uma bacia da mesma região (bacia do rio Ibicuí), encontrou valores com dados medidos variando de 0,012 mm/ano à 0,086 mm/ano com produções de sedimentos de até 228 t/km<sup>2</sup>/ano

A equação de propagação de WILLIAMS (1975), que é uma equação de exaustão, produz resultados tanto menores quanto maior a distância e consequentemente o tempo de percurso, entre a saída da sub-bacia e o exutório da bacia principal.

Considerando que grande parte da bacia apresenta áreas classificadas como lavoura de arroz, que é uma cultura submersa por longo período no ano,



espera-se que o transporte de sedimentos não seja elevado nesta região, até mesmo em função da declividade abaixo de 1% nestas áreas.

Na região do Rebordo do Planalto, onde o transporte de sedimentos deveria ser elevado em função das declividades, o índice de cobertura vegetal é bastante alto pela preservação da Floresta Nativa, diminuindo assim a produção de sedimentos.

A região do Planalto, caracterizada pela presença maior de áreas agrícolas com declividades intermediárias, região mais propícia às perdas de solo por erosão, encontra-se mais distante do exutório da bacia, sendo que muito pouco da sua produção de sedimentos é propagada até a saída da bacia.

É necessário ter em mente que a metodologia foi desenvolvida para erosão liminar, ou seja, para prever deplúvio (Wash-load); a sua utilização em áreas maiores requer a utilização conjunta com modelos de cálculos de sedimentos e propagação de vazões e sedimentos no canal fluvial. Tal procedimento foi utilizado por PAIVA (1995), numa bacia do Rio São Francisco com resultados satisfatórios.

É recomendável o desenvolvimento de trabalhos para definição da área máxima da bacia a ser utilizada para a aplicação da metodologia de WILLIAMS (1975) sem a associação de um modelo de propagação na calha fluvial.

Quanto ao coeficiente de propagação B, os valores encontrados para as três regiões parecem coerentes em comparação com os valores encontrados por PARANHOS (2003) para a mesma região, onde foram obtidos valores entre 0,15 a 10,25 para diferentes eventos chuvosos.

Em seu trabalho PARANHOS (2003) obteve os valores de B a partir da medição simultânea de vazões e sedimentos no exutório da bacia. Assim os dados sedimentométricos por ela utilizados, foram dados observados e os valores de B obtidos foram os que promoveram o melhor ajuste para a equação. Naquele trabalho foi obtida uma relação entre o parâmetro B e o produto de vazões de pico pelo volume de escoamento, demonstrando que naquela bacia o parâmetro B diminui sensivelmente com o aumento do produto da vazão de pico pelo volume escoado.

Neste trabalho foi utilizado para a determinação de B a metodologia original proposta por WILLIAMS (1975) com base apenas nos dados topográficos de áreas com características supostamente homogêneas.

WILLIAMS (1975) testou inicialmente o seu modelo em uma bacia de 17,70 km<sup>2</sup> com declividades de 2 a 3%, e bastante homogênea com relação aos tipos de solo e uso do solo, obtendo resultados satisfatórios quando comparados com os dados medidos.

Os valores de B encontrados parecem seguir um certo padrão com relação a declividade média de cada região fisiográfica, basta observar que o valor mais alto (B=3,77) foi encontrado na região de maior declividade, o valor médio (B= 1,082) para a região de declividade média e o valor mais baixo (B= 0,683) para a região mais plana.

Considerando que este estudo foi executado com base numa discretização pouco ampla das sub-bacias, utilizando como critério para a delimitação das sub-bacias a chegada dos cursos d'água ao rio principal, com sub-bacias que tiveram uma variação de 0,7 a 115 km<sup>2</sup>, os resultados obtidos de produção de sedimentos apresentaram-se melhores do que os esperados em função da variabilidade da topografia, tipos de solo e usos do solo da bacia em estudo.

Segundo YITAYEW *et al.* (1999), quando muitas vertentes são combinadas em uma única sub-bacia, efeitos como a deposição e erosão em canais podem aumentar ou diminuir a produção de sedimentos.

Como foi adotado um Fator LS médio, derivado da média ponderal de LS para cada sub-bacia; segundo BROWN *et al.* (1981) e JONG *et al.* (1983), quando se consideram rampas não uniformes pode ocorrer o inverso, isto é, quanto maior o comprimento de rampa, maior a possibilidade de haver deposição de sedimentos ao longo dela.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos desta pesquisa e pelos resultados obtidos nas condições específicas em que este trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- ❑ O nível de discretização adotado na bacia em estudo, apesar de amplo, apresentou resultados satisfatórios;
- ❑ Apesar da vasta gama de informações gerenciadas para o levantamento dos dados do trabalho, as técnicas de geoprocessamento viabilizaram a integração e cruzamento das informações, tornando factíveis os passos para a obtenção dos valores ponderados, posteriormente aplicados na MUSLE;
- ❑ É necessário testar a metodologia aplicada neste trabalho em uma bacia menor com dados aplicados numa escala menor, possivelmente com a utilização de um modelo de simulação hidrológica mais preciso, a metodologia apresentada deverá ter respostas ainda melhores;
- ❑ Observa-se a necessidade de rever alguns conceitos ligados aos fatores que integram as práticas de uso e manejo do solo (fator C) e as práticas conservacionistas (Fator P) em função de que os valores tabelados para os mesmos não contemplam muitas práticas agrícolas atualmente utilizadas, como as técnicas de plantio direto sem a construção de terraços e muito menos o cultivo em áreas de várzea (cultivo submerso em água), como a cultura do arroz.
- ❑ Fica aqui uma sugestão para possíveis estudos no sentido de ampliar as tabelas sugeridas para os fatores C e P da MUSLE, contemplando as técnicas de exploração agrícola atuais, aumentando assim a precisão dos resultados de produção de sedimentos encontrados na aplicação da MUSLE.
- ❑ Os resultados obtidos para o parâmetro B neste trabalho, quando comparados com os resultados obtidos por PARANHOS (2003) na mesma região, com dados medidos, apresentam resultados bastante satisfatórios na determinação do parâmetro de propagação B.

- Os resultados da aplicação do modelo de propagação a partir dos valores de B encontrados também foram bastante razoáveis quando comparados com os resultados encontrados por PAIVA *et al.* (2000) para a mesma região;
- É recomendável a definição dos limites de área para a aplicação da metodologia de WILLIAMS (1975), uma vez que a metodologia prevê a homogeneidade de muitos parâmetros.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA FILHO, G. S. & COIADO, E. M. **Criticidade dos processos erosivos lineares na área urbana do município de Bauru/SP**. In: CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. tema 4, p. 401 – 415.
- ANA. In: Agência nacional das águas. Brasília – DF, 2003. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 4 jan. 2004.
- ASSAD, E. D. ; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: Aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília – DF. EMBRAPA. 1998. 434p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação – Referências – Elaboração: NBR 6023**. Rio de Janeiro, Ago. 2000. 22p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio: NBR 7181**. Rio de Janeiro, Dez. 1984. 13p.
- AUTODESK, User's Guide R-2000: EUA, Autodesk, 2000. 773p.
- AZOLIN, Miguel A. D. & MUTTI, Luiz Severo Mugica. Relatório Técnico: **Solos da bacia hidrográfica do Vacacai-Mirim**. Porto Alegre: Acordo DNOS – UFSM, 1987 – 1988, 20f., p. 1 – 20 “não paginado”. (Não publicado).
- BACELLAR, A.A.A. **Estudo da erosão na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha - Município de Iracemápolis, utilizando um sistema de informação geográfica**. Relatório Técnico, FEAGRI/UNICAMP, 30p., 1994.

- BASSI, Lauro. **Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Lajeado São José, Chapecó, SC.** 1990. 103f. Dissertação. (Curso de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.
- BELINAZO, H. J. ; PAIVA, J. B. **Metodologia computacional para análise de chuvas intensas – Desenvolvimento e aplicação aos dados de Santa Maria - RS.** 1991. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria.
- BELINAZO, T. B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** 2002. 300f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- BERTONI, José. & LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo.** Piracicaba: livroceres, 1985. 392p.
- BORDAS, M. P. & SEMMELMANN, F. R. **Elementos de engenharia de sedimentos** In: Hidrologia: ciência e aplicação . Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. cap. 24, p. 915.
- BORTOLUZZI, C.A. **Contribuição à geologia da região de Santa Maria.** Porto Alegre. P. 7-86, 1971.
- BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta.** 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federa de Santa Maria, Santa Maria, 1998.
- BRASIL. Lei n. 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos**

**Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Lex: Revista Ciência e Ambiente. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria – RS. Vol. 21, p. 146, 2000.

BRASIL. Lei n. 10.350 de 30 de Dezembro de 1994. **Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.** Lex: Revista Ciência e Ambiente. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria – RS. Vol. 21, p. 147, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Boletim Técnico Nº 30. Recife, 1973. 431p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Secretaria da Agricultura. Departamento de Recursos Naturais Renováveis. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** 1970. Escala: 1/750.000.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil. 1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-V-C-IV-1, articulação da folha: MI – 2965/1.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil. 1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-V-C-IV-2, articulação da folha: MI – 2965/2.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil.1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-V-C-V-I, articulação da folha: MI – 2966/1.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil.1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-V-C-I-4, articulação da folha:

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil.1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-G-III-4, articulação da folha:

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil.1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-V-C-V-3, articulação da folha: MI – 2966/3.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região sul do Brasil.1980. Escala: 1/50.000, Folha SH-22-G-IV-4, articulação da folha:

BROWN, R.B.; CUTSHALL, N.H.; KLING, G. F. **Agricultural erosion indicated by <sup>137</sup>Cs redistribution: I. Levels and distribution of activity in soils.** Soil Science Society of American Journal, v.45, n.5, p. 1184-1190. Sept/Oct. 1981.

BRUM, A. C. R.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. **Uso, manejo e conservação do solo.** Apostila de aula. Santa Maria: 1999. 95p. (Não publicado).

CANALI, G. E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais.** 1981. 230f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.



CARVALHO, K. S.; CASAGRANDE, L. *et al.* **Determinação do comprimento de rampa (L) para a Equação Universal de Perda de Solos (USLE) utilizando o software IDRISI.** In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 2002. Salvador – BA. Anais. p 68.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CASAGRANDE, L. **Levantamento dos recursos da área do projeto piloto de gestão sustentável no Concelho de Mortágua.** 1999. 73f. Relatório de estágio final de graduação (Graduação em Engenharia Florestal) – Convênio Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil – Escola Superior Agrária de Coimbra – Portugal. 1999.

CASTILLERO, A. C. **Uso da terra por fotografias aéreas no município de Santa Maria, RS.** 1984. 47f. Monografia (Especialização em Imagens Orbitais) – Universidade Federal de Santa Maria. 1984.

COIADO, E. M. **Produção, transporte e deposição de sedimentos.** In: HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap.10, p.280.

CORSO, Jaime. **Estimativa da produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Itaquarichim, Santo Ângelo, RS, a partir de medições de turbidez da água.** 1989. 81f. Dissertação. (curso de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

EASTMAN, J. R., **IDRISI for windows version 2 tutorial exercises.** Clark University: Worcester, USA. May 1997.

EASTMAN, J.R. 2003. **IDRISI: The Kilimanjaro edition.** Worcester, MA: Clark University.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília – DF, 1999. 396p.

ENGESAT. In: imagens de satélite. Curitiba – PR, 2000. Disponível em: < <http://www.engesat.com.br>>. Acesso em: 2 jan. 2004.

EVANS, R.A. **Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: An empirical view point in soil erosion**. Ed. Kirkby, M. J. & Morgan, R. P. C. (eds) Soil Erosion. Nova York, John Willey. 1980. p 109-128.

FILIZOLA, N.; COUTINHO, P.; CARVALHO, N. O.; *et alii*. **Informações hidrossedimentométricas no Brasil**. In: PAIVA, E.M.C.D & PAIVA, J. B. D. CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001.tema2, p.169-189.

GRAF, Walter Hans. **Hdraulics of sediment transport**. Water Resources Publications. Highlands Ranch: LLC, Colorado, USA. 1984, vii, 513p.

GUERRA, A.J.T. & Cunha S.B. (1994). **Processos Erosivos nas Encostas**. In: Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. pp. 149-163. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 372 p.

HERRERO, O. R. (1974) Estimation of washload produced by certain small watersheds *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 109(HY7), 835-848.

IAC. In: Instituto Agrônomo de Campinas – Campinas-SP, 2003. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

IBGE. In: Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília – DF, 2003. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

- IDRISI. In: Geoprocessamento, novas ferramentas. Porto Alegre – RS, 2003.  
Disponível em: < <http://www.idrisi.com.br>>. Acesso em: 4 jan. 2004.
- ISAIA. T. **Planejamento de uso da terra para o município de Santa Maria-RS, através do diagnóstico físico conservacionista das microbacias hidrográficas.** Santa Maria. 1992. 60 p.
- JOHNSON, C. W. *et alli*. **Northwest rangeland sediment yield analysis by the MUSLE.** Transactions of the ASAE. Volume 28. Issue 6. 1985. p 1989 – 1995.
- JONG, E. de; BEGG, C. B. M.; KACHANOSKI, R.G. **Estimates of Soil erosion and deposition for same Saskatchewan soil.** Canadian Journal of Soil Science, v.63, p. 607-617, 1983.
- LENCASTRE, A. & FRANCO, F. M. **Lições de hidrologia.** Lisboa: Universidade Nove de Lisboa, 1984. 449p.
- LINS, Marlene; BRAMORSKI, Julieta; PINHEIRO, Adilson; *et alii*. Influência da cobertura do solo e do comprimento da vertente no transporte de sedimentos. In: CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. tema 1, p. 11 – 22.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP.** *Bragantia*, Campinas, 51(2) : 189-196, 1992.
- LOPES, A.S. & GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de Análise do Solo. Conceitos e aplicações.** Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. Bol. Téc. 2. São Paulo. 58p, 1987
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre - RS: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

NOVO, E. M. N. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 2ª ed. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1999.

NÚÑEZ, Maria Violeta Julca. **Perdas de solo e nutrientes na bacia hidrográfica do Arroio Grande, Santa Maria, RS**. 1991. 82f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

PAIVA, E. M. C. D. **Métodos de Estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas**. In: PAIVA, J. B. D. & PAIVA, E. M.C. D. **HIDROLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap.13, p.365 – 394.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M.C. D.; VILLELA, S. M. **Avaliação da descarga de sedimentos afluente a captação da estação elevatória I do projeto de transposição das águas do Rio São Francisco**. RBE – Caderno de Recursos Hídricos. 1995a. v. 13, nº 2, p. 47 – 79.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M.C. D.; GASTALDINI, M. C. C.; CLARKE, R. T. **Avaliação Quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água da bacia do rio Ibicuí**. In: VI SILUSBA - SIMPOSIO DE HIDRAULICA E RECURSOS HIDRICOS DOS PAISES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2003, Praia. APRH - Associação Portuguesa de Recursos Hídricos., 2003.

PARANHOS, R. M. **Avaliação de metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta**. 2003. 112f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

- PONTES, A.B. **Controle de erosão na região Noroeste do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro, Ministério do Interior, Departamento Nacional de Obras e Saneamento. 1977. p.163.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar.** Juiz de Fora, Ed. Do Autor, 2000.
- SANTOS, I.; KRÜGER, C. M.; LEVIS, M.; GARCIA, K.S. **Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí** In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 1999. BELO HORIZONTE - MG. Anais. 20p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** SBCS. 1984. Campinas, 45p.
- SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo.** Salvador: Centro Editorial de Didático da UFBA, 1984. 275p.
- SEMA. In: Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Porto Alegre – RS, 2003. Disponível em: < <http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2004.
- SEPLAN. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. **Levantamento dos recursos naturais.** Rio de Janeiro, IBGE, 1986. p. 796.
- SILVA, A. B. A. **GIS approach for land use assesment: a Brazilian case study.** 10th Thematic conference on Remote sensing. San Antonio, Texas, USA, 1994.
- SILVA, D. A. **Sistemas Sensores Orbitais.** Centro Técnico Aeroespacial. Instituto de Estudos Avançados. São José dos Campos, 1995.

UFSM. Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses – MDT**. 5 ed. Santa Maria: UFSM, 2000. 68p.

US. In: Universidad de Sevilla. Sevilla – Espanha, 2003. Disponível em: < <http://www.us.es>>. Acesso em: 4 jan. 2004.

VILLELA, Swami Marcondes. & MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw – Hill, 1975. 245p.

VIVATERRA. In: Vivaterra: Sociedade de defesa, pesquisa e educação ambiental. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: < <http://www.vivaterra.org.br>>. Acesso em: 5 jan. 2004.

WILLIAMS, J. R. **Sediment routing for agricultural watersheds**. In: WATER RESOURCES BULLETIN. 1975. Proceedings of the AWRA, Minneápolis, 11., nº 5, Oct. 1975. p. 965 – 974.

WISCHMEIER, W.H., JONHSON, C.B. and CROSS, B.V. 1971. **A soil erodibility nomograph for farmland and construction sties**. *J. Soil and Water Conservation* 26(5): 189-192.

WISCHMEIER, Walter H. & SMITH, D. D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, U. S. Department of agriculture, Agriculture Handbook N° 282, 48p.

YITAYEW, M.; POKRZYWKA, S. J.; RENARD, K. G. **Using GIS for facilitating erosion estimation**. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 15, n.4, p. 295-301, 1999.