

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA OCUPAÇÃO DO SOLO  
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO  
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA  
SÓLIDA TRANSPORTADA**

**Maria Rejane Lourençoni Siviero**

**Orientador: Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado**

Campinas / SP / Brasil  
**MAIO/2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA OCUPAÇÃO DO SOLO  
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO  
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA  
SÓLIDA TRANSPORTADA**

**Maria Rejane Lourençoni Siviero**

**Orientador: Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado**

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos.

**Campinas - SP - Brasil  
MAIO/2003**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si94e

Siviero, Maria Rejane Lourençoni

Estudo da ocupação do solo a montante de uma seção do rio Atibaia associada à descarga sólida transportada / Maria Rejane Lourençoni Siviero. –Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Evaldo Miranda Coiado.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia Civil.

1. Transporte de sedimento. 2. Solos - Erosão. 3. Bacias hidrográficas - Medição. I. Coiado, Evaldo Miranda. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA OCUPAÇÃO DE SOLO  
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO  
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA  
SÓLIDA TRANSPORTADA**

**Maria Rejane Lourençon Siviero**

**Tese de doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

---

**Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado  
Presidente e Orientador/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Francisco Lombardi Neto  
IAC/CAMPINAS**

---

**Prof. Dr. José Teixeira Filho  
FEAGRI/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior  
FEC/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Antonio Augusto dos Santos Nogueira  
EPUSP**

**Campinas, 09 de Maio de 2003**

## Agradecimentos

Agradecimentos à todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na realização deste estudo, destacando:

- à orientação do Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado – FEC/UNICAMP;
- à co-orientação do Prof. Dr. Francisco Lombardi Neto – IAC/Campinas;
- à colaboração técnica do Eng. Agric. André Ricardo Melo – CATI/Campinas e o Eng. Agron. Ivan P. M. Negreiro – IAC/Campinas;
- à Faculdade de Engenharia Civil – Departamento de Recursos Hídricos;
- às Casas de Agricultura e Prefeituras Municipais de: Campinas, Distrito de Sousas/ Campinas, Valinhos, Vinhedo, Morungaba, Itatiba, Bragança Paulista e Atibaia;
- à Sra. Rosa Maria da Secretaria do Meio Ambiente – Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo;
- à Biblioteca do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial);
- à agência financiadora da bolsa de estudo: FAPESP;
- aos familiares: Gilson José Siviero, espôso, e filhos Ricardo e Guilherme Siviero;
- aos colegas do Departamento de Recursos Hídricos;
- à Deus pela saúde e fortalecimento para o cumprimento desse estudo.

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | LISTA DE FIGURAS  | IX        |
|          | LISTA DE QUADROS  | XI        |
|          | LISTA DE TABELAS  | XII       |
|          | LISTA DE SÍMBOLOS   | XIII      |
|          | <b>RESUMO</b>   | <b>XV</b> |
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | OBJETIVO .....  | 2         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | INTRODUÇÃO AO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA SUB-<br>BACIA DO ATIBAIA – BACIA DO PIRACICABA .....         | 3         |
| 2.2      | CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DO TRECHO EM ESTUDO<br>NA SUB-BACIA DO ATIBAIA – BACIA DO PIRACICABA ..... | 7         |
| 2.3      | O FENÔMENO DA EROSÃO .....  | 11        |
| 2.4      | PROCESSOS DE EROSÃO: AGENTES .....  | 12        |
| 2.4.1    | Água em Movimento: Erosão Fluvial e Hídrica .....   | 12        |
| 2.4.1.1  | Rios: Erosão Fluvial .....  | 12        |
| 2.4.4.2  | Chuva e Escoamento Superficial: Erosão Hídrica .....  | 14        |
| 2.5      | ANÁLISE DOS FATORES QUE AFETAM A EROSÃO .....   | 15        |
| 2.5.1    | Chuva .....   | 15        |
| 2.5.2    | Escoamento Superficial .....  | 15        |
| 2.5.3    | Solo .....  | 16        |
| 2.5.4    | Topografia .....  | 16        |
| 2.5.5    | Uso do Solo .....   | 17        |
| 2.5.6    | Práticas conservacionistas .....  | 17        |
| 2.6      | O PRODUTO GERADO PELA EROSÃO: SEDIMENTOS .....  | 17        |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.6.1     | Propriedades das partículas dos sedimentos .....                        | 18 |
| 2.6.1.1   | Tamanho .....   | 18 |
| 2.6.1.2   | Forma .....   | 19 |
| 2.6.1.3   | Velocidade de queda .....   | 19 |
| 2.6.1.4   | Composição Mineral .....  | 19 |
| 2.6.1.5   | Textura Superficial .....   | 19 |
| 2.6.1.6   | Orientação .....  | 19 |
| 2.6.2     | Propriedades Volumétricas dos Sedimentos .....                          | 21 |
| 2.6.2.1   | Distribuição do Tamanho .....   | 21 |
| 2.6.2.2   | Porosidade .....  | 21 |
| 2.6.2.3   | Peso Específico .....   | 22 |
| 2.6.2.4   | Ângulo de Repouso .....   | 22 |
| 2.6.3     | Dinâmica dos Sedimentos Produzidos .....                                | 24 |
| 2.6.4     | Distribuição dos Sedimentos Num Curso D'água .....                      | 24 |
| 2.6.4.1   | Distribuição na Seção Transversal .....                                 | 25 |
| 2.6.4.2   | Distribuição Longitudinal .....   | 25 |
| 2.6.5     | Formas de Transporte dos Sedimentos Num Curso D'água .....              | 27 |
| 2.6.6     | Medições e Equipamentos .....   | 28 |
| 2.6.6.1   | Posto ou Estação Sedimentométrica .....                                 | 28 |
| 2.6.6.2   | Métodos para Medição da Descarga Sólida Transportada .....              | 29 |
| 2.6.6.3   | Medição da Descarga Sólida em Suspensão .....                           | 29 |
| 2.6.6.3.1 | Amostragem dos Sedimentos em Suspensão .....                            | 29 |
| 2.6.6.3.2 | Amostradores para Sedimentos em Suspensão .....                         | 31 |
| 2.6.6.3.3 | Critérios de Escolha dos Amostradores para Sedimento em Suspensão ..... | 33 |
| 2.6.6.4   | Medição da Descarga Sólida por Arraste .....                            | 34 |
| 2.6.6.4.1 | Amostragem dos Sedimentos em Arraste .....                              | 34 |
| 2.6.6.4.2 | Amostradores dos Sedimentos em Arraste .....                            | 34 |
| 2.6.6.4.3 | Critérios de Escolha dos Amostradores para Sedimentos em Arraste ...    | 35 |
| 2.6.6.5   | Medição da Descarga Sólida com Uso de Traçadores Radioativos .....      | 36 |
| 2.6.6.6   | Medição do Material do Leito .....                                      | 36 |
| 2.6.7     | Equações Propostas para Quantificar os Sedimentos .....                 | 37 |
| 2.6.7.1   | Equações de Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) .....                     | 37 |
| 2.6.7.2   | Equação de Khosla (Garde & Ranga Raju, 1985) .....                      | 38 |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.6.7.3  | Equação de Kirkby (Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 38        |
| 2.6.8    | Generalidades: Sedimento como um poluente? .....  | 39        |
| 2.7      | A ESTIMATIVA DA EROSÃO: EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO .....  | 40        |
| 2.7.1    | Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) .....   | 43        |
| 2.7.2    | Análise dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo .....   | 44        |
| 2.7.2.1  | Fator Chuva (R) .....   | 44        |
| 2.7.2.2  | Fator Erodibilidade do Solo (K) .....   | 46        |
| 2.7.2.3  | Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS) .....   | 46        |
| 2.7.2.4  | Fator Uso e Manejo do Solo (C) .....  | 47        |
| 2.7.2.5  | Fator Prática Conservacionista (P) .....  | 49        |
| 2.7.3    | Considerações sobre a Equação Universal de Perda de Solo .....  | 49        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>51</b> |
| 3.1      | MEDIDAS FLUVIOSSIDIMÉTRICAS NA SEÇÃO DE MEDIDAS – RIO ATIBAIA .....   | 51        |
| 3.1.1    | Introdução .....  | 51        |
| 3.1.2    | A Seção de Medição .....  | 51        |
| 3.1.3    | Hidrometria .....   | 51        |
| 3.1.3.1  | Medição da Vazão .....  | 51        |
| 3.1.4    | Sedimentometria .....   | 54        |
| 3.1.4.1  | Medida da Descarga Sólida de Fundo .....  | 54        |
| 3.1.4.2  | Medição da Descarga Sólida em Suspensão .....   | 56        |
| 3.2      | PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EUPS E DAS EQUAÇÕES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (GARDE & RANGA RAJU, 1985) ..... | 60        |
| 3.2.1    | Introdução .....  | 60        |
| 3.2.2    | Banco de Dados .....  | 60        |
| 3.2.3    | Equipamentos e “Softwares” .....  | 61        |
| 3.2.4    | Procedimento .....  | 61        |
| 3.2.4.1  | Definição da Escala de Trabalho .....   | 61        |
| 3.2.4.2  | Digitalização .....   | 61        |
| 3.2.4.3  | Elaboração da Carta Planialtimétrica .....  | 62        |
| 3.2.4.4  | Elaboração da Carta de Tipos de Solo .....  | 62        |
| 3.2.4.5  | Elaboração das Cartas de Uso da Terra .....   | 62        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS .....</b>   | <b>63</b>  |
| 4.1      | RESULTADOS DOS PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS SEGUNDO GARDE & RANGA RAJU (1985) .....                      | 63         |
| 4.1.1    | Área (A), Declividade Média (S), Comprimento do Talvegue (L) e Densidade de Drenagem (Dd) .....               | 63         |
| 4.1.2    | Precipitação Média Anual (P) .....  | 66         |
| 4.1.3    | Escoamento Médio Anual (Q) .....  | 69         |
| 4.1.4    | Descargas Líquida, Sólida de Fundo e em Suspensão .....   | 69         |
| 4.1.5    | Fator Erodibilidade (Fc) .....  | 69         |
| 4.2      | RESULTADOS DOS FATORES DA EUPS .....  | 70         |
| 4.2.1    | Fator Chuva (R) .....   | 70         |
| 4.2.2    | Fator Erodibilidade do Solo (K) .....   | 70         |
| 4.2.3    | Fator Topográfico (LS) .....  | 75         |
| 4.2.4    | Fator Uso e Manejo do Solo (C) .....  | 75         |
| 4.2.5    | Fator Prática Conservacionista (P) .....  | 76         |
| 4.2.6    | Integração dos Fatores da EUPS .....  | 85         |
| 4.3      | RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS POR GARDE & RANGA RAJU (1985), EUPS E A SEÇÃO DE MEDIDAS ..... | 91         |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>   | <b>92</b>  |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>7</b> | <b>RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>97</b>  |
|          | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>98</b>  |
|          | <b>Anexo A: Medidas Fluviossedimétricas da Seção de Medidas .....</b>   | <b>99</b>  |
|          | <b>Anexo B: Precipitações nos postos meteorológicos – 1993 e 1999 ....</b>                                    | <b>101</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>106</b> |
|          | <b>BIBLIOGRAFIAS RECOMENDADAS .....</b>   | <b>113</b> |
|          | <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>116</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 2.1  | A expansão da cafeicultura na região sudeste (Dantas, apud Martins, 1993) .....  | 5  |
| Figura 2.2  | Bacia do Piracicaba – Trecho em estudo no rio Atibaia (Secretaria do Meio Ambiente – Estabelecimento de Metas Ambientais e Reenquadramento dos corpos D’água: Bacia do Piracicaba, 1994) ..... | 8  |
| Figura 2.3  | Processos atuantes no transporte de sedimentos (Christofoletti, 1981) .....  | 13 |
| Figura 2.4  | Textura das partículas que compõem os solos (Bowles, 1984)   | 20 |
| Figura 2.5  | Ângulos de repouso para vários tipos de solos (Marsh, 1991)  | 23 |
| Figura 2.6  | Distribuição da concentração de sedimento e descarga sólida nos cursos d’água .....  | 25 |
| Figura 2.7  | Locais de distribuição dos sedimentos em pequenos cursos Fluviais (Marsh, 1991) .....  | 26 |
| Figura 2.8  | Diferentes formas de transporte dos sedimentos (Álvares & Flores, apud Nascimento, 2001) .....   | 28 |
| Figura 2.9  | Turbidissonda integradora pontual US-P-50 (Coiado, 1998) ..  | 33 |
| Figura 2.10 | Turbidissonda para amostras integradas em profundidade, - sem válvula US-D-49 (Coiado,1998) .....  | 33 |
| Figura 2.11 | Aparelho BTMA (Coiado, 1994) .....   | 35 |
| Figura 2.12 | Esquema do mecanismo de impacto da gota d’água em planos de: A) alta e, B) baixa resistência (Nearing, 1993) .....   | 44 |
| Figura 3.1  | Croquí com as posições das réguas linimétricas e a seção de medidas .....  | 52 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 3.2  | Seção de medidas – rio Atibaia – Distrito de Sousas / Campinas .....  | 53 |
| Figura 3.3  | Amostrador tipo ARNHEM – BTMA .....   | 55 |
| Figura 3.4  | Amostrador tipo AMS – 3 .....   | 57 |
| Figura 3.5  | Passarela de pedestres - seção de medição – Distrito de -<br>Sousas/Campinas/SP e o suporte do amostrador AMS – 3 .....       | 57 |
| Figura 3.6  | Amostrador draga – tipo Petersen .....  | 59 |
| Figura 4.1  | Municípios pertencentes á área em estudo .....  | 64 |
| Figura 4.2  | Área de influência dos postos meteorológicos .....  | 67 |
| Figura 4.3  | Fator Chuva (R) da área em estudo 1993 .....  | 71 |
| Figura 4.4  | Fator Chuva (R) da área em estudo 1999 .....  | 72 |
| Figura 4.5  | Erodibilidade do solo na área em estudo .....   | 73 |
| Figura 4.6  | Classes de declive da área em estudo .....  | 77 |
| Figura 4.7  | Comprimento de rampa da área em estudo .....  | 79 |
| Figura 4.8  | Fator uso e manejo do solo (C) – 1993 .....   | 81 |
| Figura 4.9  | Fator uso e manejo do solo (C) – 1999 .....   | 83 |
| Figura 4.10 | Representação Esquemática do Modelo de Erosão baseados<br>nos parâmetros da EUPS, modificado de Donzeli et al.<br>(1992)..... | 86 |
| Figura 4.11 | Perda de solo – 1993 .....  | 87 |
| Figura 4.12 | Perda de solo – 1999 .....  | 89 |

## LISTA DE QUADROS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Quadro 2.1 | Principais produtos produzidos nos municípios pertencentes à área em estudo, segundo a Enciclopédia dos Municípios Brasileiros (1958) ..... | 6  |
| Quadro 2.2 | Características geográficas dos municípios pertencentes à área em estudo (1999) .....   | 9  |
| Quadro 2.3 | Principais atividades agrícolas dos municípios pertencentes à área em estudo (1999) .....   | 10 |
| Quadro 2.4 | Escala de tamanhos e denominação das partículas de sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 18 |
| Quadro 2.5 | Relação entre porosidade efetiva e tamanho da partícula (Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 21 |
| Quadro 2.6 | Relação de peso específico e tamanho do sedimento (Modificado de Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 22 |
| Quadro 2.7 | Valores do ângulo de repouso por Simons (Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 22 |
| Quadro 2.8 | Valores do fator erodibilidade (Fc), segundo Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) .....  | 38 |
| Quadro 2.9 | Valores de C (Marsh, 1991) .....  | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabela 4.1  | Área dos municípios pertencentes à área em estudo .....   | 63 |
| Tabela 4.2  | Valores obtidos para as precipitações médias anuais .....   | 66 |
| Tabela 4.3  | Descargas líquida, sólida de fundo e em suspensão médias .....  | 69 |
| Tabela 4.4  | Reclassificação dos tipos de cobertura vegetal .....  | 69 |
| Tabela 4.5  | Valores do fator chuva (R) para os postos meteorológicos .....  | 70 |
| Tabela 4.6  | Tipos de solo, fator K e a tolerância à perda de solo .....   | 70 |
| Tabela 4.7  | Classes de declive e comprimentos de rampa para área em estudo .....                                  | 75 |
| Tabela 4.8  | Classes de uso da terra para 1993 e 1999 e o fator C .....  | 76 |
| Tabela 4.9  | Perdas de solo em 1993 e 1999 .....   | 85 |
| Tabela 4.10 | Resultados das equações (2.3), (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), - (2.10) e a seção de medidas ..... | 91 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                   |   |
|-------------------|---|
| a                 | Constante da Equação de Kirkby [adimensional];  |
| A                 | Área da Bacia Hidrográfica [ $L^2$ ]; Área da Bacia [ $L^2$ ]; Perda de solo [ $ML^{-1}$ ];         |
| b                 | Constante da Equação Kirkby [adimensional];   |
| C                 | Fator uso e manejo do solo; Comprimento de rampa [L];   |
| Ci                | Concentração dos sólidos totais em suspensão [adimensional];  |
| Ci'               | Concentração dos sólidos fixos em suspensão [adimensional];   |
| CX                | Cambissolo;   |
| D                 | Grau de declive do Terreno [adimensional];  |
| Dd                | Densidade de drenagem [ $L^{-1}$ ];   |
| E                 | Provável perda de solo [ $ML^{-1}$ ];   |
| Ec                | Energia cinética da chuva [ $ML^2T^{-2}$ ];   |
| E.I               | Índice de erosão [ $MT^{-2}$ ];   |
| E.I <sub>30</sub> | Índice de erosão da chuva em 30 minutos [ $ML^2T^{-3}$ ];   |
| Fc                | Fator de erodibilidade [adimensional];  |
| gsai              | Descarga sólida em peso seco que passa pela boca do aparelho [ $MT^{-1}$ ];                         |
| gssi              | Descarga sólida em suspensão da vertical <i>i</i> [ $MT^{-1}$ ];                                    |
| I                 | Intensidade da chuva [ $LT^{-1}$ ];   |
| I <sub>30</sub>   | Intensidade máxima da chuva em 30 minutos [ $LT^{-1}$ ];  |
|                   | Fator de erodibilidade [ $L^{-2}T^{-2}$ ];  |
| Ki                | Constante de correção do aparelho [adimensional];   |
| li                | Faixa de influência da medição [L];   |
| L                 | Comprimento do talvegue da bacia [L]; Comprimento do declive [L]; Fator comprimento do declive [L]; |
| LS                | Fator comprimento da vertente e de declive [L];   |
| LVA               | Latossolo Vermelho-Amarelo;   |

|                 |   |
|-----------------|---|
| MJ              | Mega Joule;   |
| p               | Precipitação média anual [L];   |
| P               | Fator prática conservacionista [adimensional];  |
| P <sub>30</sub> | Chuva; Intensidade máxima da chuva em 30 minutos com frequência de 2 anos [LT <sup>-1</sup> ];  |
| Ps              | Massa sólida coletada pelo aparelho no intervalo de tempo $\Delta t$ [MT <sup>-1</sup> ];   |
| Pi              | Porcentagem de vazão líquida que passa na faixa de influência dessa vertical [L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ];   |
| pc              | Massa da cápsula de porcelana [M];  |
| pca             | Massa da cápsula de porcelana mais amostra à 105 ° C [M];   |
| pca'            | Massa da cápsula de porcelana mais amostra à 550 ° C [M];   |
| pf              | Massa do microfiltro [M];   |
| pfa             | Massa dos sólidos totais retidos pelo microfiltro [M];  |
| pfa'            | Massa dos sólidos fixos retidos pelo microfiltro [M];   |
| PVA             | Podzólico Vermelho- Amarelo;  |
| Q               | Escoamento médio anual [L <sup>3</sup> ], Descarga líquida [L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]; Vazão líquida total da seção [L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]; |
| Qsa             | Descarga sólida transportada junto ao leito [MT <sup>-1</sup> ];  |
| Qss             | Descarga sólida em suspensão [MT <sup>-1</sup> ];   |
| r               | Precipitação média mensal [L];  |
| R               | Fator referente à cobertura vegetal; Fator chuva [MLT <sup>-2</sup> ];  |
| S               | Declividade média da bacia [adimensional]; declividade da bacia [adimensional]; Fator grau de declive [adimensional];   |
| T               | Perdas de solo [ML <sup>-1</sup> ];   |
| UTM             | Projeção Universal Transversa de Mercator;  |
| $\bar{V}_i$     | Velocidade média medida na vertical $i$ [LT <sup>-1</sup> ];  |
| Vf              | Volume da amostra filtrada [L <sup>3</sup> ];   |
| VS              | Volume aparente [L <sup>3</sup> ];<br>Volume absoluto [L <sup>3</sup> ];  |
| y               | Profundidade total [L];   |
| $\bar{Y}_{mi}$  | Profundidade da faixa de influência $i$ [L].  |

## RESUMO

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

Dada a importância do rio Atibaia e a falta de informações referentes à produção e dinâmica dos sedimentos, decidiu-se pelo desenvolvimento deste estudo objetivando quantificar e qualificar a descarga sólida transportada numa seção de medidas no rio Atibaia, associando-a à ocupação do solo a montante, bem como determinar, em termos percentuais, quanto do material erodido chega a esta seção.

A quantificação da descarga sólida foi mensurada numa seção do rio, localizada numa passarela de pedestre no Distrito de Sousas/Campinas/SP, sendo, em termos médios, cerca de 147 Mg/dia para 1993 e 522 Mg/dia para 1999. Os sedimentos são constituídos de argila, silte, areia e cascalho; cerca de 50% do material do leito são representados por areia média. A estimativa da produção de sedimentos foi dada pela aplicação de equações propostas segundo Garde & Ranga Raju (1985).

média. A estimativa da produção de sedimentos foi dada pela aplicação de equações propostas segundo Garde & Ranga Raju (1985).

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) na área de drenagem, que compreende o trecho em estudo do rio Atibaia/SP, resultou em perdas de solo médias de 7,3 Mg/ha para 1993 e 7,8 Mg/ha para 1999. Deste modo, podemos dizer que o volume total de sedimentos, erodidos na área de drenagem em estudo, estimado pela EUPS, somente 8% passou na seção de medidas no rio Atibaia em 1993 e 26% em 1999.

Embora, as equações propostas por Garde & Ranga Raju (1985), não estão traduzindo, como esperado, as medições; comparando as medições realizadas em 1993 e 1999 e a aplicação da EUPS para o mesmo período, as mesmas estão refletindo uma atividade antrópica acentuada, principalmente, no que diz respeito ao uso e manejo do solo na área do trecho em estudo do rio Atibaia.

Palavras-Chave: Produção de Sedimento, Transporte de Sedimento, Descarga Sólida Transportada, Erosão, Perda de solos, Equação Universal de Perda de Solo.

## 1 - INTRODUÇÃO

A Engenharia muitas vezes despreza o fato de que os rios naturais não conduzem somente água, mas, também, sedimentos e que a taxa de sedimento transportada está intimamente relacionada com a forma e estabilidade do canal. Deste modo, é essencial considerar a taxa da carga de sedimento transportada como uma variável a ser equacionada, em projetos de barragens, canais, reservatórios de acumulação ou qualquer obra hidráulica (Garde & Ranga Raju, 1985).

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

Os sedimentos soltos existentes numa bacia hidrográfica, passíveis de serem transportados pelas enxurradas para dentro das calhas dos rios, originam-se da principal fonte: a erosão.

A erosão pode ser agravada pela influência do homem através dos desmatamentos desordenados, construções em geral, mineração descontrolada e atividades agrícolas sem critérios conservacionistas. Causando efeitos patológicos ao meio ambiente que vão desde a alteração da qualidade da água dos rios à enchentes provocados pelo assoreamento das calhas de drenagem e dos reservatórios.

O constante crescimento da população mundial certamente provoca um aumento da liberação de sedimentos devido à expansão urbana. Segundo Marsh (1991), a exposição prolongada do solo durante a fase de urbanização eleva as taxas de erosão para cerca de 500 toneladas/hectare/ano. Mas, esse crescimento populacional implica, também em um aumento da demanda d'água para múltiplos propósitos e deste modo é necessário um

gerenciamento mais rigoroso dos recursos hídricos.

## 1.1 - OBJETIVO

A Sub-bacia do Atibaia – Bacia do Piracicaba é uma comprovação do que está ocorrendo a nível mundial. Devido à urbanização intensa os seus recursos hídricos, vêm sofrendo perda de qualidade, pelo aumento das cargas sólidas de origem mineral (resultante dos processos erosivos) e orgânica (resultante de fontes poluidoras) e do mesmo modo da quantidade, pela degradação / destruição das áreas de mananciais.

A escolha da Sub-bacia do Atibaia, a montante do córrego Cachoeira, deve-se ao fato que o rio Atibaia, seu principal canal natural de drenagem, é responsável pelo abastecimento de 80% da população de Campinas, além de outras comunidades como de Atibaia, Jundiá, Valinhos entre outras.

Dada a importância do rio Atibaia e a falta de informações referentes à produção e dinâmica dos sedimentos, decidiu-se pelo desenvolvimento deste estudo objetivando quantificar e qualificar a descarga sólida transportada numa seção do rio Atibaia, associando-a à ocupação do solo a montante, bem como determinar, em termos percentuais, quanto do material erodido chega à esta seção.

O conhecimento das características físicas da área do trecho em estudo, aliado à produção de sedimentos que serão carregados para calha do rio, se traduzem em termos quantitativos de descarga sólida transportada.

A quantificação da descarga sólida foi mensurada numa seção do rio Atibaia e a estimativa da produção de sedimentos foi obtida pela aplicação de equações propostas de Transporte de Sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985) e, também, pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), aplicada na área de drenagem do trecho em estudo, para as campanhas realizadas em 1993 e 1999 à título de comparação.

Por outro lado, a associação entre a erosão que ocorre na área a montante da seção e a descarga total de sedimentos mensurados é o fator de interação pioneiro realizado neste estudo. Assim, foi possível verificar a influência da ocupação, quer seja urbana ou rural, na área de drenagem do trecho em estudo sobre as descargas líquida e sólida que passa na seção de medidas no rio Atibaia.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – INTRODUÇÃO AO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA SUB-BACIA DO ATIBAIA - BACIA DO PIRACICABA

Segundo Sampaio (1978), grandes e formosíssimas matas cobriam os vales do Capivari e do Piracicaba, donde se tiravam outrora os grossos madeiros para as canoas das monções, que tinham 80 palmos de comprimento, 7,5 de largura e 5 de altura, jaziam em vastíssimo sertão, raro interrompidas pela trilha incerta dos foragidos ou pelos tímidos ensaios de lavoura dos sesmeiros que iam entrando.

Matas extensas tombam todos os dias aos golpes dos derrubadores e, nos altos espigões, como nas planuras elevadas, milhões de cafeeiros enchem o horizonte imenso, galgando do vale à montanha, da montanha aos píncaros da serra, invadindo o sertão e arrastando após si as povoações (Sampaio, 1978).

Desde o início, a cultura cafeeira foi incorretamente instalada; pois o primeiro passo para se iniciar uma fazenda de café era derrubar e queimar a mata. Essa técnica primitiva e altamente condenável de preparação da terra para a lavoura não foi abandonada com o passar dos anos. Com esse procedimento o solo se esgotava rapidamente e a cultura de café tinha curta duração, obtendo-se apenas vinte anos, no máximo, de produção após o que se devia partir para novas terras (Martins, 1993).

E, embora desde o início do século XIX se admitisse tal procedimento como destruidor, os fazendeiros prosseguiram numa desenfreada derrubada de imensas florestas virgens, ricas em madeiras nobres (Martins, 1993). Mesmo com as técnicas modernas, a cultura cafeeira se manteve predatória e itinerante, deixando para trás florestas virgens destruídas. Fazendas outrora produtivas tornavam-se degradadas e eram abandonadas por proprietários que iniciavam plantações em novas terras. A vida faustosa registrada no apogeu

da produção deixavam de existir. Restavam apenas terras esgotadas e as primitivas instalações decadentes. O abandono da casa grande era o símbolo maior desse declínio (Martins, 1993).

A Figura 2.1 ilustra a expansão da cafeicultura na região sudeste. Merece ser considerado que os modelos de fazenda de café variaram ligeiramente em função da época em que foram instaladas, das características topográficas da região e das técnicas utilizadas no beneficiamento do produto. No geral, tratava-se de um conjunto complexo de grandes proporções, praticamente auto suficientes (Martins, 1993).

Segundo Martins (1993), alguns elementos são comuns a todas elas e acabam por definir a fazenda cafeeira. Inicialmente sua localização, próxima a um curso d'água para facilitar a lavagem do produto, movimentando a roda d'água que acionava os pilões; a casa grande, moradia do proprietário, construção na maioria das vezes imponente, que permitia ao fazendeiro ostentar seu poderio e controlar o trabalho quase a perder de vista; a senzala, uma sequência de cubículos onde a escravaria se alojava; o terreiro, destinado à secagem do produto; a tulha, o depósito onde o café era guardado; a casa das máquinas, quando se atingiu a mecanização do trabalho.

Segundo Sampaio (1978), a cultura cafeeira não teria certamente logrado tão rápido e considerável desenvolvimento pelos sertões distantes, se não fora a rede de viação acelerada de que é tronco, e a primeira na ordem cronológica como na benemerência em relação ao progresso desta terra, a estrada de ferro inglesa à São Paulo "Railway". A construção da estrada de ferro defenderia a cidade de Campinas de prematura decadência. Pois já havia muito tempo que Campinas se convertera em entreposto comercial para algumas comarcas mais remotas da província de São Paulo e mesmo de Minas Gerais (Taunay, 1939).

Taunay (1939), afirma que no ano de 1860 só no município de Campinas existiam 189 fazendas de café que, juntas, exportavam, anualmente, e em termos médios 700.000 arrobas. Mas, nesta época o município de Campinas, segundo a Enciclopédia do Municípios Brasileiros (IBGE, 1958), era composto dos seguintes Distritos: Sub-distrito de Campinas, Valinhos, Sousas, Americana, Cosmópolis, Paulínia, Sumaré e Barão Geraldo. E, em 1886, Campinas supera o Vale do Paraíba na produção de café (Martins, 1993). Segundo Santin (1999), em meados de 1930 boa parte dos cafezais foi erradicada e Campinas tornava-se a principal produtora estadual de algodão.

Em 1955/56, os principais produtos dos municípios pertencentes à área em estudo estão no Quadro 2.1, segundo a Enciclopédia dos Municípios Brasileiros (IBGE, 1958).

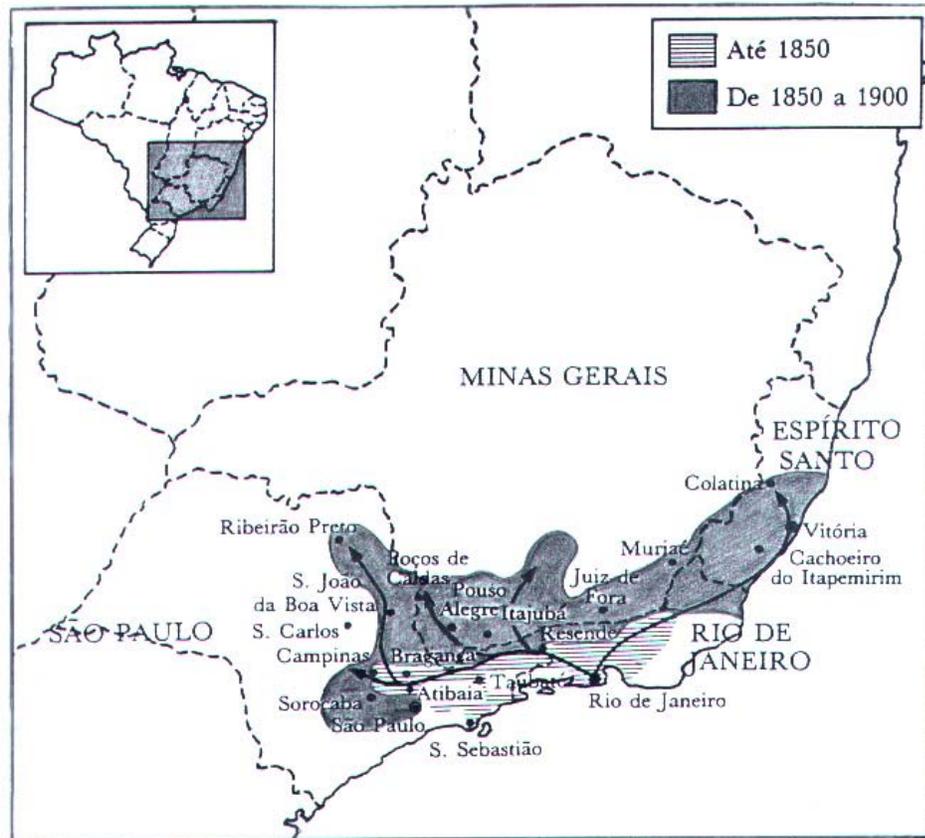


Figura 2.1 - A expansão da cafeicultura na região sudeste (Dantas, apud Martins, 1993)

Quadro 2.1 – Principais produtos produzidos nos municípios pertencentes á área em estudo, segundo a Enciclopédia dos Municípios Brasileiros (1958)

| MUNICÍPIO  | PRODUTO               | UNIDADE      | QUANTIDADE/ VOLUME |
|--|-----------------------|--------------|--------------------|
| <i>ATIBAIA</i><br>(1956)   | Batatinha             | ----         | -----              |
|  | Milho (grão)          | ----         | -----              |
|  | Cafê (beneficiado)    |              | -----              |
|  | Matas                 | ha           | 1.740              |
| <i>BRAGANÇA Pta.</i><br>(1956)   | Batata inglesa        | kg           | 29.208.000         |
|  | Cafê                  | arroba       | 240.000            |
|  | Cebola                | arroba       | 399.000            |
|  | Milho                 | kg           | 9.000.000          |
|  | Tecido                | metro        | 4.301.482          |
|  | Matas                 | ha           | 10.890             |
| <i>CAMPINAS</i><br>(1955)  | Arroz c/ casca        | saco (60 kg) | 150.000            |
|  | Milho                 | arroba       | 190.000            |
|  | Cafê (beneficiado)    | arroba       | 72.000             |
|  | Algodão c/ caroço     | arroba       | 190.000            |
|  | Batata inglesa        | saco (60 kg) | 50.000             |
|  | Lenha eucalipto       | metro cúbico | 85.000             |
|  | Matas naturais        | ha           | 2.835              |
|  | Florestas artificiais | ha           | 10.273             |
| <i>ITATIBA</i><br>(INCLUÍDO DIS-<br>TRITO DE MO-<br>RUNGABA)<br>(1956) | Algodão               | saco         | 920.000            |
|  | Uva                   | kg           | 5.300.000          |
|  | Cafê                  | saco (60 kg) | 15.000             |
|  | Milho                 | saco (60 kg) | 18.500             |
|  | Mata natural          | ha           | 600                |
|  | Mata formada          | ha           | 2.000              |
| <i>JARINÚ</i><br>(1956)  | Batata inglesa        | saco (60 kg) | 41.000             |
|  | Uva                   | kg           | 1.000.000          |
|  | Milho                 | saco (60 kg) | 13.000             |
|  | Tomate                | kg           | 1.450.000          |
|  | Mata                  | ha           | 650                |
| <i>VALINHOS</i><br>(1956)  | Figo                  | pés          | 400.000            |
|  | Uva, maçã             | ----         | -----              |
|  | Pera, pêssego         | ----         | -----              |
|  | Mata natural          | ha           | 360                |
|  | Mata formada          | ha           | 1.628              |
| <i>VINHEDO</i><br>(INCLUÍDO DIS-<br>TRITO DE LOU-<br>VEIRA)<br>(1956)  | Uva                   | kg           | 22.000.000         |
|  | Tomate                | kg           | 330.000            |
|  | Cafê                  | arroba       | 1.600              |
|  | Figo                  | cento        | 80.000             |
|  | Milho                 | saco (60 kg) | 15.500             |
|  | Mata natural          | ha           | 180                |

## 2.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DO TRECHO EM ESTUDO NA SUB-BACIA DO ATIBAIA – BACIA DO PIRACICABA

A Bacia do Piracicaba possui área de drenagem de 12.400 km<sup>2</sup>, está dividida pelo Comitê das Bacias Hidrográficas (CBH-PCJ) em: Sub-Bacia do Atibaia (2.760 km<sup>2</sup>), Sub-Bacia do Corumbatai (1.700 km<sup>2</sup>), Sub-Bacia do Jaguari (4.290 km<sup>2</sup>) e Sub-Bacia do Piracicaba (3.650 km<sup>2</sup>). A Figura 2.2 ilustra a Bacia do Piracicaba e o trecho em estudo no rio Atibaia.

O trecho em estudo pertence à Sub-Bacia do Atibaia, contém 73,5 km do rio Atibaia, está localizado entre o Distrito de Sousas / Campinas / SP e a Barragem do Município de Atibaia / SP, entre meridianos 46° 30' 09'' e 47 ° 03' 04'' W e os paralelos 22° 52' 17'' e 23° 12' 21'' S. O rio Atibaia nesse trecho possui declividade de 3,27%, apresentando rede de drenagem padrão dentrítico a subdentrítico e de alta densidade. Os sedimentos aluvionais são constituídos por argila, silte, areia e cascalho, ocorrem na forma de planícies fluviais estreitas e descontínuas que se desenvolvem ao longo das principais drenagens.

A área de drenagem do trecho em estudo é de 934,7 km<sup>2</sup>, com declividade média de 14,3%, sendo composta pelos Municípios de Campinas, Valinhos, Vinhedo, Itatiba, Morungaba, Jarinú, Bragança Paulista e Atibaia. Trata-se de uma área bastante heterogênea, devido ser a Bacia do Piracicaba um cenário de acelerado crescimento econômico, com significativa transformação no parque industrial e nas áreas agrícolas e urbanas, onde acentuam-se as alterações ambientais dos Municípios e também as diferenças regionais.

No Quadro 2.2 constam as características geográficas dos Municípios, os quais fazem parte da área em estudo, obtidos junto às Prefeituras (1999) e no Quadro 2.3 as atividades agrícolas dos Municípios obtidas junto à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (1999).

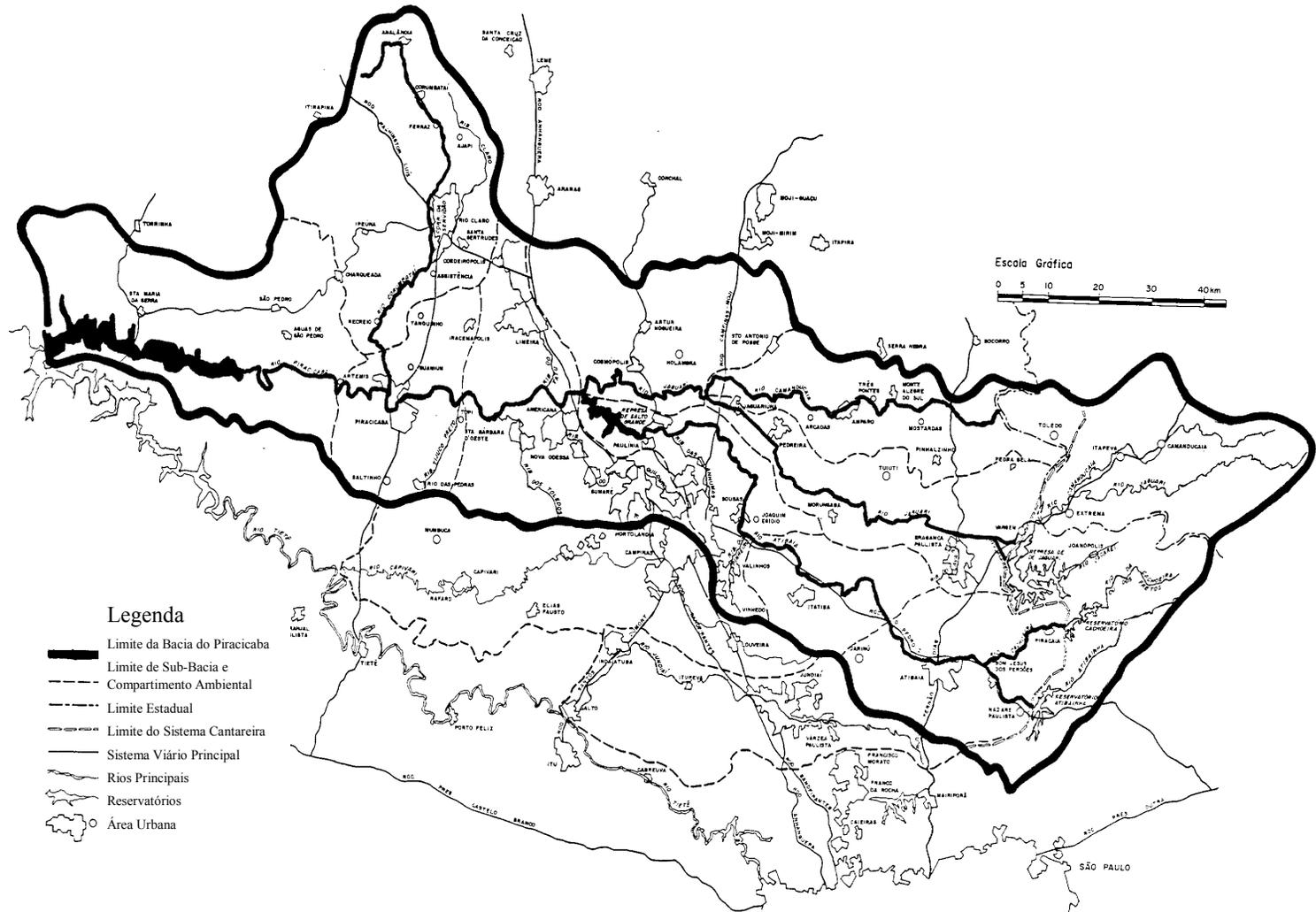


Figura 2.2 – Bacia do Piracicaba – Trecho em estudo – rio Atibaia (Secretaria do Meio Ambiente – Estabelecimento de Metas Ambientais e Reenquadramento dos Corpos D’água: Bacia do Piracicaba, 1994)

Quadro 2.2 – Características Geográficas dos Municípios Pertencentes à Área em Estudo (Prefeituras Municipais, 1999)

| Características               | Municípios |           |           |           |           |           |               |           |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|
|                               | Campinas   | Valinhos  | Vinhedo   | Morungaba | Itatiba   | Jarinú    | Bragança Pta. | Atibaia   |
| Área (km <sup>2</sup> )       | 796 ▲      | 149       | 82        | 146       | 323       | 208       | 514           | 478       |
| Altitude Méd (m)              | 680        | 660       | 720       | 760       | 760       | 780       | 840           | 800       |
| Latitude (S)                  | 22°53'20"  | 22°58'25" | 23°01'47" | 22°52'48" | 23°00'18" | 23°06'05" | 22°57'53"     | 23°06'59" |
| Longitude (W)                 | 47°04'40"  | 46°59'50" | 46°58'28" | 46°47'29" | 46°50'28" | 46°43'40" | 46°32'10"     | 46°33'06" |
| População (hab)               | 908.906 ▲▲ | 75.868    | 40.187    | 10.600    | 71.644    | 12.903    | 150.000       | 95.342    |
| Taxa Cresc. Anual Pop. (%)    | 1,46 ▲▲▲   | 3,02      | 2,87      | 3,36      | 3,62      | 3,2       | 3,2           | 3,2       |
| Nº Indústrias                 | 2.916      | 292       | 150       | 15        | 300       | 7         | 488           | 533       |
| Propr. Rurais (ha)            | -----      | 6.144     | -----     | -----     | 25.944    | -----     | 46.269        | -----     |
| Área Rural (km <sup>2</sup> ) | 407,8      | -----     | 18,76     | 140       | -----     | 158,44    | -----         | 298       |
| Res. Ambiental                | 11 ▲▲▲▲    | 2 ●       | 1 *       | 1 ♣       | -----     | -----     | 1 ♦           | 4 *       |

▲ Área territorial de Sousas = 60,19 km<sup>2</sup> / Área Territorial de Joaquim Egídio = 90,30 km<sup>2</sup>

▲▲ Pop. Sousas = 11.363 habitantes / Pop. Joaquim Egídio = 2.842 habitantes

▲▲▲ Taxa de crescimento de Sousas = 3,02% / Taxa de crescimento Joaquim Egídio = -1,31%

▲▲▲▲ Reserva Ambiental APA = 222 km<sup>2</sup> (compreende integralmente os distritos de Sousas e Joaquim Egídio) Parque Portugal – Lagoa do Taquaral = 648.409m<sup>2</sup> / Bosque dos Jequitibás = 101.031m<sup>2</sup> / Parque Ecológico Mons. Emílio José Salim = 2.850.000m<sup>2</sup> / Lago do Café = 330.000m<sup>2</sup> / Parque dos Guarantãs = 87.016m<sup>2</sup> / Bosque dos Italianos = 14.411m<sup>2</sup> / Praça Ulisses Guimarães = 130.000 m<sup>2</sup> / Bosque dos Alemães = 20.580 m<sup>2</sup> / Bosque São José = 33.600 m<sup>2</sup> / Bosque “Chico Mendes” = 34.000 m<sup>2</sup>

● Reserva Ambiental : Parque Estadual = 83,93 ha e Estação Ecológica = 16,94 ha

\* Reserva Florestal: Bosque Municipal José Carlos Giunco = 154.367,60 m<sup>2</sup>

♦ Reserva Ambiental : Estação Municipal do Caetê = 1.000.000 m<sup>2</sup>

\* Zona de Preservação Ecológica da Serra do Itapetinga (Pedra Grande) = 18 km<sup>2</sup>

Parque Municipal da Grota Funda = 101 ha

Zona de Proteção do Rádio Observatório do Itapetinga, compreende um raio de 2 km em torno do Rádio Observatório.

Área de Proteção Ambiental da Represa da Usina (APA) = 1.000 ha

♣ Parque Ecológico Pedro Mineiro = 26,62 ha

Quadro 2.3 – Principais Atividades Agrícolas dos Municípios Pertencentes à Área em Estudo  
(Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo 1999)

| Principais Culturas | Área dos Municípios (ha) |          |         |           |          |         |               |         |
|---------------------|--------------------------|----------|---------|-----------|----------|---------|---------------|---------|
|                     | Campinas                 | Valinhos | Vinhedo | Morungaba | Itatiba  | Jarinú  | Bragança Pta. | Atibaia |
| Abobrinha           | 125                      | -        | -       | 2,9       | 150      | 151,9   | -             | -       |
| Arroz               | 47                       | -        | -       | 16,7      | 32,9     | 16      | 19,8          | -       |
| Bata-doce           | -                        | -        | -       | -         | -        | 43,9    | -             | -       |
| Cafê                | 1.090                    | 141,2    | 31,6    | 450.000*  | 1.000*   | 24,3    | 1.286,1       | 50      |
| Cana                | 2.540                    | -        | -       | 50,7      | 181,6    | 276,6   | 199,8         | -       |
| Caqui               | -                        | 53       | 14,5    | -         | 155,2    | 42,2    | -             | -       |
| Couve-flor          | -                        | -        | -       | -         | 500      | 120     | -             | -       |
| Feijão              | 129                      | -        | -       | 23,7      | 300      | 38,4    | 400           | 116,5   |
| Figo                | 112,5                    | 300      | 8,1     | 7,0       | 51,3     | 13      | 16,4          | -       |
| Flores              | -                        | -        | -       | -         | -        | -       | 100           | 292,7   |
| Fruticultura        | -                        | -        | -       | -         | -        | -       | 750           | 500     |
| Goiaba              | 232,3                    | 42       | 3,1     | -         | -        | -       | -             | 22      |
| Hortaliças          | 1.512**                  | -        | -       | 10        | -        | -       | 180           | 600**   |
| Laranja             | 60                       | 11,8     | 42,3    | 42,7      | 76,8     | 573     | 316,8         | -       |
| Mandioca            | 101,2                    | -        | -       | -         | -        | 40,6    | -             | -       |
| Milho               | 1.638,4                  | 206,5    | 468,2   | 1.086,1   | 2.500    | 562,1   | 3.000         | 680,2   |
| Morango             | -                        | 15,9     | 9,7     | -         | 30,1     | 120,9   | 56,2          | 250     |
| Past.Natural        | 13.530                   | 1.573    | 2.081,4 | 6.000     | 13.680,1 | 3.165   | 20.000        | 2.929,5 |
| Past.Cultiv.        | 9.110                    |          |         |           | -        | 1.011   |               |         |
| Pêssego             | -                        | 130      | 4,4     | -         | -        | 7,0     | 19,8          | 124,5   |
| Pimentão            | -                        | -        | -       | -         | 150      | 42      | -             | -       |
| Reflorest.          | 4.015,8                  | 324      | 800,5   | 2.098,8   | 2.900    | 1.515,8 | 5.343,2       | 2.240   |
| Tomate              | 160                      | 22       | -       | -         | 21       | 13      | -             | -       |
| Uva                 | 227                      | 100      | 166,5   | -         | 200      | 330,5   | -             | 395,8   |

\*pés de café

\*\* hortaliças + floricultura

### 2.3 - O FENÔMENO DA EROSÃO

A erosão é um conjunto de processos, segundo, os quais o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido de algum lugar da superfície da terra, conseqüentemente, alterando-a lenta e continuamente.

Deste modo, a erosão inclui o intemperismo, o transporte e a deposição dos sedimentos. Os processos de erosão são diversos, por exemplo: erosão geológica, erosão hídrica, erosão eólica, etc. Porém, segundo, a forma de ação, dividem-se em:

- Erosão natural: quando ocorre sob condições naturais;
- Erosão acelerada: quando ocorre sob condições de interferência humana.

A terra, desde a sua gênese tem experimentado a erosão natural, que é a responsável pela suavização da superfície da terra, ou seja, sua modelação atual.

A erosão natural não pode ser controlada e nem há interesse em controlá-la, uma vez que as perdas de solo que ocorrem nesse processo são, geralmente, muito pequenas em relação à erosão acelerada. Segundo Holdgate et al., O'keefe e Brown, apud Lal (1990), a erosão natural no mundo está estimada em 9,9 bilhões de toneladas/ano.

A principal causa de depauperamento acelerado da terra é devido à erosão acelerada (Kovda, apud Lal, 1990), é provocada, principalmente, pelas ações antrópicas, cujas graves conseqüências, destacam-se as principais (Figueiredo, 1993):

- Empobrecimento da fertilidade do solo;
- Deterioração das condições físicas para o desenvolvimento vegetal;
- Produção de sedimentos;
- Liberação de poluentes químicos constituídos por nutrientes vegetais e agrotóxicos;
- Deposição de sedimentos em reservatórios, canais e enchentes em regiões planas.

Este tipo de erosão tende a se tornar cada vez mais crítica, difícil de ser eliminada, porém pode ser reduzida a níveis aceitáveis pela aplicação de práticas adequadas de controle. Segundo Holdgate et al., O'Keefe e Brown, apud Lal (1990), a erosão acelerada no mundo está estimada em 26 bilhões de toneladas/ano.

Estima-se que erosão acelerada no mundo tem destruído irreversivelmente 430 milhões de hectares (Lal, 1990).

## 2.4 - PROCESSOS DE EROSÃO: AGENTES

O fenômeno da erosão pode variar em conformidade com os agentes causadores dos processos erosivos. Esses agentes podem ser: vento, gelo, gravidade e água em movimento. Dado o enfoque do estudo, a seguir, está exposto somente água em movimento.

### 2.4.1 - Água em Movimento: Erosão Fluvial e Hídrica

#### 2.4.1.1 - Rios: Erosão Fluvial

São os rios que realizam a grande maioria do trabalho de transporte dos detritos dos continentes para o mar. Os ventos, as geleiras, as ondas oceânicas e todos os outros agentes de erosão realizam pequeno trabalho em comparação com os rios (Bloom, 1970).

Os rios não somente transportam sedimentos fornecidos por escorregamentos e movimentos do regolito, mas também erodem as rochas do embasamento sobre o qual eles correm. A carga detrítica do rio fornece instrumentos com os quais a água corrente desgasta a rocha sólida. Através da força da corrente blocos soltos são elevados e chocam-se uns contra outros até sua fragmentação (Bloom, 1970).

Reações químicas com a água também podem ocorrer corroendo o fundo do rio. Os rios em estádios mais jovens de desenvolvimento aprofundam e alargam agressivamente os seus canais, principalmente nos vales; já os rios que correm sobre materiais passíveis de sofrer erosão tendem a formar meandros e planícies de inundação. Os lagos são formados pelos segmentos de meandros - braços mortos - isolados pela migração do curso de um rio.

Os processos atuantes no transporte estão esquematizados na Figura 2.3, podendo-se verificar que a carga total de sedimentos é composta por materiais fornecidos pelos processos químicos, processos pluviais (englobando todos os processos ligados com a morfogênese pluvial que atuam sobre as vertentes) e movimentos de massa do regolito (Christofolletti, 1981).

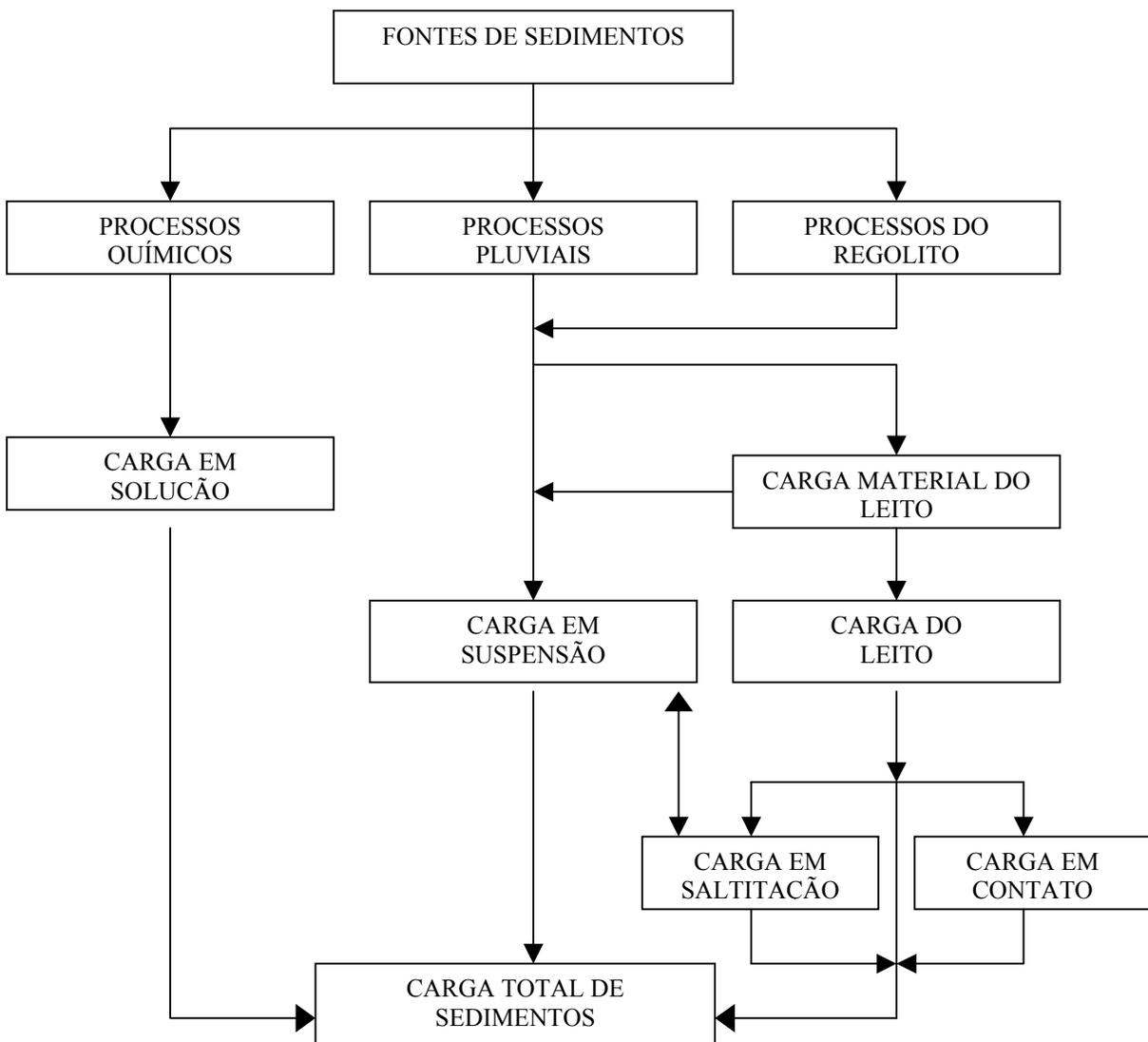


Figura 2.3 – Processos atuantes no transporte de sedimentos (Christofolletti, 1981).

#### 2.4.1.2 - Chuva e Escoamento Superficial: Erosão Hídrica

É a erosão que predomina, consiste na desagregação e remoção do solo, fragmentos e partículas de rochas pela ação da água precipitada e seu escoamento. Manifesta-se na forma de erosão laminar, sulcos, ravinas, voçorocas entre outras, segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), esta forma de classificação é apropriada a nossa compreensão, porém omite o primeiro e mais importante estágio do processo de erosão o impacto das gotas de chuva sobre o solo. Assim, os autores propõem a seguinte classificação:

- Erosão pelo impacto da chuva: danos causados pelas gotas de chuva que golpeiam o solo com uma alta energia constituem o primeiro passo no processo da erosão;
- Erosão laminar: é a lavagem da superfície do solo nos terrenos arados ou remoção de camadas delgadas do solo;
- Erosão em sulcos: concentração de água escorrendo em pequenos sulcos nos campos cultivados;
- Erosão em voçorocas: quando os sulcos foram bastante erodidos em largura e profundidade;
- Erosão em pedestal: quando um solo de grande suscetibilidade à erosão é protegido da ação de salpicamento por uma pedra ou raízes de árvores, "pedestais" isolados encabeçados por materiais resistentes se formam, permanecendo na superfície do terreno;
- Erosão em pináculo: está associado com condições altamente erosionáveis de alguns solos, é encontrado juntamente com sulcos verticais profundos nas voçorocas, constituindo-se em altos pináculos no fundo e nos lados nas mesmas;
- Erosão em túnel: ocorre quando a água da superfície se movimenta dentro do solo até encontrar uma camada menos permeável: se há uma saída para que escorra sobre a camada menos permeável, ela arrasta as partículas finas da camada mais porosa;
- Erosão da fertilidade do solo: a erosão nos seus mais amplos termos inclui qualquer tipo de degradação que possa reduzir-lhe a capacidade de cultivo de plantas, mesmo que não haja uma remoção física do solo.

## 2.5 – ANÁLISE DOS FATORES QUE AFETAM A EROSÃO

O processo de erosão do solo e sedimentação envolve uma complexa interação dos agentes atmosféricos, vegetais e seres humanos com os elementos componentes do solo (Meyer & Mutchler, 1993).

Embora o problema tenha sido reconhecido há muito tempo antes, pesquisa para compreender os princípios e processos envolvidos na erosão do solo pela água iniciaram, somente, em pouco mais que meio século atrás. Estes estudos têm identificado os principais fatores que afetam a erosão pela água: chuva, escoamento superficial, solo, topografia, uso do solo e práticas conservacionistas (Wischmeier & Smith, 1978).

### 2.5.1 - Chuva

O impacto da chuva sobre o solo desprotegido, dá início ao processo de erosão. As principais características da chuva incluem: intensidade, duração e frequência. A gota de chuva, em tamanho, varia de garoa a cerca de 7 mm de diâmetro, com tamanho médio, para a maioria das pancadas de chuva, entre 1 a 3 mm (Laws e Parsons, apud Meyer & Mutchler, 1993). Vários trilhões de gotas de chuvas anualmente bombardeiam cada hectare de solo em regiões úmidas do mundo com velocidade de impacto acima de 9 m/s.

Em áreas onde a altura de chuva anual é cerca de 1000 mm, a água precipitada sobre 1 hectare possui um volume de 10.000 m<sup>3</sup>, uma massa de cerca de 10 milhões de kg, e queda com uma energia de impacto de 200 a 300 MJ (Meyer & Mutchler, 1993).

A não ser que o solo esteja protegido pela vegetação ou outra cobertura, este impacto das gotas de chuva podem destacar extraordinárias quantidades de partículas de sedimentos da massa do solo, embora a espessura média do solo perdida a cada ano possa ser, por conseguinte, pequena, quanto ser despercebida.

### 2.5.2 - Escoamento Superficial

A maior parte do solo erodido pela água é transportado declive abaixo pelo escoamento superficial. O escoamento superficial não inicia, até que a intensidade da chuva exceda a capacidade de infiltração do solo e a capacidade de armazenamento da superfície do solo seja satisfeita.

Assim, os solos que apresentam capacidade de infiltração e ou capacidade de armazenamento superficial elevados podem, apreciavelmente, retardar o escoamento superficial e reduzir, subsequentemente, as taxas de escoamento superficial.

O escoamento superficial transporta, não somente, sedimentos que foram destacados pela chuva, mas pode, também, destacar e transportar sedimentos erodidos por ele próprio. Em uma altura de somente 10 mm de escoamento superficial em 1 hectare produz cerca de 100.000 L contendo uma massa de sedimentos de 100 mg. Variações médias anuais de escoamentos superficiais são muito pouco em áreas áridas e chega a 1 bilhão L/km<sup>2</sup> em áreas muito úmidas onde o total de escoamento é 1.000 mm/ano (Meyer & Mutchler, 1993).

### 2.5.3 - Solo

O solo não é inerte, matéria aparentemente homogênea formada por uma combinação complexa de partículas minerais, materiais orgânicos, componentes biológicos e água. Estas propriedades variam muito de local para local, e afetam a coesividade, estrutura e fertilidade do solo.

Deste modo, as propriedades afetam o destacamento da partícula em repouso na massa do solo e facilitam seu transporte por escoamento superficial, uma vez destacada. As grandes variações das propriedades do solo e de sua erodibilidade afetam as características dos sedimentos e seu transporte.

Do ponto de vista da sua composição química, os solos contêm uma proporção da ordem de 45% de elementos minerais, 25% de ar, 25% de água e cerca de 5% de matéria orgânica (Branco & Rocha, 1984).

### 2.5.4 - Topografia

Declive íngreme e extenso são as principais características topográficas que afetam a erosão, embora a forma e irregularidade do declive, também, são importantes. Estas diferenças topográficas afetam a erosão por concentração do escoamento superficial. A quantidade de solo destacado e transportado pelo escoamento superficial e a granulometria dos sedimentos que podem ser removidos, geralmente, aumentam à medida que o declive torna-se escarpado e prolongado, devido à concentração do escoamento superficial.

### 2.5.5 - Uso do Solo

O uso do solo tem um grande efeito sobre a erosão porque inclui o tipo de cobertura vegetal e seu manejo. Assim, o adequado uso do solo é o principal fator de controle da erosão.

### 2.5.6 - Práticas Conservacionistas

As práticas conservacionistas do solo são recursos para se reduzir a erosão. Podendo ser cultural, tal como cobertura vegetal, ou estrutural, tal como terraplenagem, com o objetivo de proteção do solo contra a chuva e o escoamento superficial, procurando reduzir o escoamento por aumento da infiltração e ou controlando o escoamento para reduzir a remoção do solo e seu transporte.

Manejo adequado do solo erodido depende da compreensão dos fatores que afetam a erosão do solo, transporte de sedimentos e depósito de sedimentos (sedimentação). Esta compreensão é vital, quando avaliando o risco de erosão do uso alternativo do solo e a necessidade quanto ao sustento de práticas conservacionistas (Meyer & Mutchler, 1993).

## 2.6 - O PRODUTO GERADO PELA EROSÃO: SEDIMENTOS

Definição aceita pelo Subcomitê sobre Terminologia de Sedimentos da União Geofísica Americana:

"Sedimento ou aluvião é todo material fragmentado transportado em suspensão ou por arrastamento pela água ou pelo ar ou sedimentado nos leitos dos cursos d'água por agentes naturais; qualquer acumulação detrítica, tal como o Loess" (Garde & Ranga Raju, 1985).

As propriedades dos sedimentos, tais como: granulometria, composição mineral, densidade, textura superficial, etc, dependem da origem e natureza da rocha, da qual os sedimentos foram desagregados.

## 2.6.1 - Propriedades das Partículas dos Sedimentos

As propriedades das partículas de sedimentos vêm sendo estudadas em detalhes por geólogos bem como por engenheiros. Os geólogos estudam essas propriedades de modo a descreverem a origem dos sedimentos e seus agentes naturais de transporte. Os engenheiros hidráulicos estudam essas propriedades dado à sua importância no fenômeno transporte de sedimentos. As propriedades individuais das partículas que mais interessam aos engenheiros hidráulicos são: tamanho, forma, velocidade de queda, composição mineral, textura superficial e orientação. (Garde & Ranga Raju, 1985).

### 2.6.1.1 - Tamanho

É a propriedade mais importante e a mais utilizada. O tamanho do sedimento pode ser definido por seu volume, velocidade de queda, tamanho da malha de uma peneira, entre outros. A classificação aceita pelo Subcomitê sobre Terminologia de Sedimentos da União Geofísica Americana consta do Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Tamanhos e denominações das partículas de sedimentos  
(Garde & Ranga Raju, 1985)

| <b>Tamanho (mm)</b> | <b>Denominação</b>    | <b>Tamanho (mm)</b> | <b>Denominação</b> |
|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 4096-2048           | Matacão muito grande  | 1 / 2 – 1 / 4       | Areia média        |
| 2048-1024           | Matacão grande        | 1 / 4 – 1 / 8       | Areia fina         |
| 1024-512            | Matacão médio         | 1 / 8 – 1 / 16      | Areia muito fina   |
| 512-256             | Matacão pequeno       |                     |                    |
| 256-128             | Pedregulho grande     | 1 / 16 – 1 / 32     | Silte grosso       |
| 128-64              | Pedregulho pequeno    | 1 / 32 – 1 / 64     | Silte médio        |
| 64-32               | Cascalho muito grosso | 1 / 64 – 1 / 128    | Silte fino         |
| 32-16               | Cascalho grosso       |                     |                    |
| 16-8                | Cascalho médio        | 1 / 128 – 1 / 256   | Silte muito fino   |
| 8-4                 | Cascalho fino         | 1 / 256 – 1 / 512   | Argila grossa      |
| 4-2                 | Cascalho muito fino   | 1 / 512 – 1 / 1024  | Argila média       |
| 2-1                 | Areia muito grossa    | 1 / 1024 – 1 / 2048 | Argila fina        |
| 1-1/2               | Areia grossa          | 1 / 2048 – 1 / 4096 | Argila muito fina  |

### 2.6.1.2 - Forma

As partículas de sedimentos podem assumir uma infinidade de formas que variam de acordo com a porosidade, permeabilidade e coesividade dos solos. Para uma definição quantitativa da forma da partícula são utilizados coeficientes baseados no volume, na área projetada e nos eixos maior, intermediário e menor dos sedimentos.

### 2.6.1.3 - Velocidade de Queda

A velocidade de queda de uma partícula de sedimentos depende de vários fatores, tais como: número de Reynolds, fator forma, proximidade das paredes, concentração e turbulência. Estes fatores podem agir simultaneamente para a maioria dos casos e em adição, tratando-se de escoamento em canal fluvial, a velocidade de distribuição do escoamento e o grau de concentração de sedimentos em suspensão. Assim, para obtenção da velocidade de queda da partícula esses fatores devem ser avaliados quantitativamente.

### 2.6.1.4 - Composição Mineral

As rochas são, geralmente, constituídas por minerais variados; sua composição química global se determina pelos métodos clássicos de análise química e a mineralógica é obtida a partir de exame microscópico (Basílio, 1987). Após exaustivos estudos encontrou-se uma estrita relação entre a composição mineral e o tamanho dos sedimentos. Material grosso como as areias são constituídas com altas porcentagens de quartzo e baixa porcentagem de outros minerais. Com o decréscimo do tamanho, a porcentagem de quartzo decresce e a porcentagem de mineral argílico aumenta (Garde & Ranga Raju, 1985).

Por outro lado, o peso específico das partículas de sedimentos depende de sua composição mineral, deste modo para fins práticos Garde & Ranga Raju (1985), propõem  $2,65 \text{ t/m}^3$  para o material do rio.

### 2.6.1.5 – Textura Superficial

Muito pouco sabe-se sobre a textura superficial devido à falta de técnicas de medição e estudos experimentais. Por essa razão a textura superficial é classificada qualitativamente (Garde & Ranga Raju, 1985). A textura depende do tamanho e disposição dos minerais que compõem a partícula de sedimentos (Figura 2.4).

### 2.6.1.6 – Orientação

Segundo Garde & Ranga Raju (1985), existem dois tipos de orientações que

devem ser consideradas no caso das partículas de sedimentos – orientação da partícula enquanto está caindo num fluido (orientação instantânea) e a orientação da partícula depois de estar depositada sobre o leito (orientação de construção). Ambas as orientações dependem principalmente da forma da partícula de sedimento, sendo consideradas importantes no estudo da erosão.

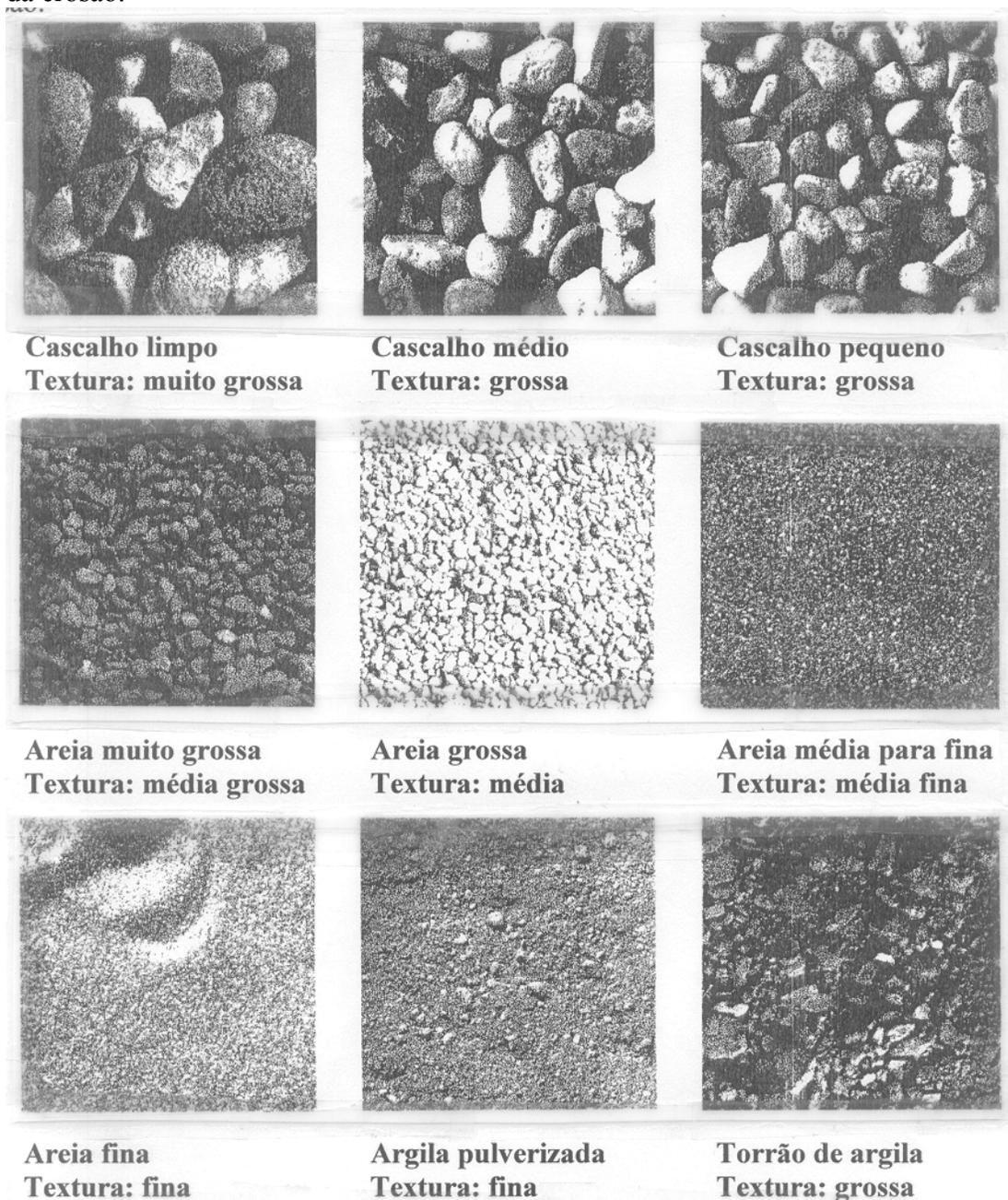


Figura 2.4 – Textura das partículas que compõem os solos (Bowles, 1984)

## 2.6.2 - Propriedades Volumétricas dos Sedimentos

Para compreensão da dinâmica dos sedimentos é necessário conhecer as propriedades individuais das partículas de sedimentos, entretanto as propriedades mais utilizadas em problemas de engenharia são as propriedades volumétricas dos sedimentos ou de um conjunto de partículas de sedimentos. As propriedades volumétricas mais importantes são: distribuição do tamanho, porosidade, peso específico e ângulo de repouso (Garde & Ranga Raju, 1985).

### 2.6.2.1 - Distribuição do Tamanho

As partículas de sedimentos raramente são constituídas por um tamanho único, deste modo há relativa abundância na distribuição do tamanho das partículas. O método de análise da distribuição dos tamanhos depende da grossura ou finura dos sedimentos, sendo o limite de separação entre ambos 1/16 mm. Para material grosseiro utiliza-se o método de medição individual, se a partícula for maior que 16 mm, ou o método de análise mecânica, se for entre 16 mm e 1/16 mm. Para o material fino, ou seja, partículas menores que 1/16 mm utiliza-se o método de sedimentação contínua de partículas na água, baseado na Lei de Stokes.

### 2.6.2.2 - Porosidade

A porosidade é definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total da massa de sedimentos. A porosidade é afetada pela distribuição do tamanho dos sedimentos, forma das partículas condição e modo de deposição e amontoamento. Geralmente, o material mais fino possui porosidade maior do que o material mais grosseiro. Uma distinção pode ser feita entre porosidade total, que inclui todos os vazios, e porosidade efetiva que inclui somente os vazios conectados. A seguir, Quadro 2.5, encontram-se as relações entre a porosidade efetiva e tamanho da partícula para alguns materiais.

Quadro 2.5 - Relação entre porosidade efetiva e tamanho da partícula  
(Garde & Ranga Raju, 1985)

| <b>Tamanho ou classe do material</b> | <b>Porosidade (%)</b> |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Areia grossa                         | 39 a 41               |
| Areia média                          | 41 a 48               |
| Areia fina                           | 44 a 49               |

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Greda arenosa fina | 50 a 54 |
|--------------------|---------|

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), o volume de poros, em condições médias, representa a metade do volume de solo.

### 2.6.2.3 - Peso Específico

O peso específico ou peso seco unitário é definido como o peso seco por unidade de volume de sedimento num local. O conhecimento do peso específico correto é essencial para estimar a vida útil do reservatório, neste caso sua variação é considerável e depende de vários fatores, tais como: métodos de operação do reservatório, tipo e tamanho do material depositado e tempo de depósito. Baseado nos estudos de Hembree, Colby, Swenson, Davis e Happ (Garde & Ranga Raju, 1985), o Quadro 2.6 sugere valores de pesos específicos para vários tamanhos de sedimentos.

Quadro 2.6 - Relação de peso específico e tamanho do sedimento  
(Modificado de Garde & Ranga Raju, 1985)

|  |        |       |       |       |       |       |       |       |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Tamanho médio (mm)</b>                | 0,0012 | 0,005 | 0,01  | 0,05  | 0,10  | 0,25  | 0,50  | 1,00  |
| <b>Peso específico (t/m<sup>3</sup>)</b> | 0,769  | 0,962 | 1,042 | 1,186 | 1,282 | 1,426 | 1,667 | 1,923 |

### 2.6.2.4 - Ângulo de Repouso

O ângulo de repouso é definido como o ângulo de deslizamento incipiente sob condição de equilíbrio crítico. É uma propriedade importante utilizada em projetos hidráulicos, principalmente na estabilidade de canais (Quadro 2.7). O ângulo de repouso pode variar desde 90° para leito rochoso até menos de 10° para solos não coesivos - Figura 2.5.

Quadro 2.7 – Valores do ângulo de repouso por Simons  
(Garde & Ranga Raju, 1985)

| <b>Diâmetro Médio<br/>Da Partícula<br/>(polegada)</b> | <b>Ângulo de Repouso (grau)</b>         |                          |                              |
|---|---|--------------------------|------------------------------|
|   | <b>Brita ou Rocha com<br/>Saliência</b> | <b>Muito<br/>Angular</b> | <b>Muito<br/>Arredondada</b> |
| 0,01  | 32,0                                    | 31,4                     | 29,2                         |
| 0,05  | 34,5                                    | 32,9                     | 29,5                         |
| 0,10  | 36,6                                    | 33,8                     | 29,9                         |
| 0,50  | 40,0                                    | 37,5                     | 32,5                         |
| 1,00  | 40,8                                    | 39,1                     | 34,8                         |
| 5,00  | 42,0                                    | 41,2                     | 38,3                         |

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 10,0 | 42,2 | 41,5 | 39,2 |
|------|------|------|------|

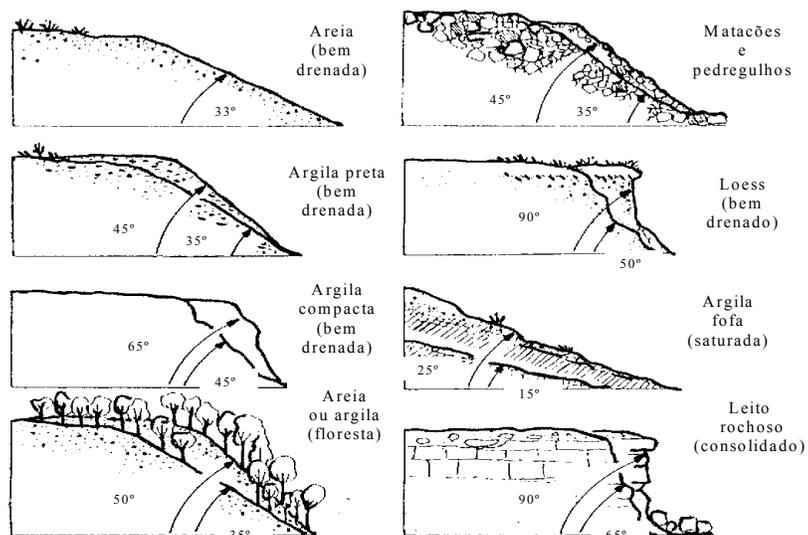


Figura 2.5 - Ângulos de repouso para vários tipos de solos (Marsh, 1991).

### 2.6.3 - Dinâmica dos Sedimentos Produzidos

Os sedimentos, ao se desprenderem de suas origens, tenderão à moverem-se continuamente até estabilizarem-se em algum ponto específico. Nesta ação dinâmica, a quantidade, localização e distribuição dos sedimentos, em suas pausas e marchas, apresentam grandes variações. Assim, os fragmentos de aluvião são constantemente selecionados, arredondados e reduzidos de tamanho pela abrasão, à medida que são deslocados em direção ao oceano. Estima-se em 1000 anos o tempo médio de passagem do aluvião pela planície de inundação (Bloom, 1970) e a taxa de sedimentos que atingem o oceano é menor ou muito inferior que 1/4 da taxa de sedimentos desprendidos pelas diferentes formas de erosão (Figueiredo, 1993).

Fatores que podem afetar a porcentagem de sedimentos transportados desde a origem até algum lugar específico:

- Natureza do solo;
- Cobertura vegetal ou tipo de cultura em exploração ;
- Declividade da superfície do solo;
- Clima: intensidade, duração e frequência da chuva, temperatura;
- Tipo de prática conservacionista;
- Granulometria, textura e quantidade do material erodível.

Situações que podem ocorrer nas marchas dos sedimentos:

- Formação de volumes de sedimentos em vários locais intermediários - assoreamento;
- Dispersão dos sedimentos na superfície do solo;
- Depósito de sedimentos nos pequenos orifícios que foram erodidos anteriormente em locais escarpados que margeiam os vales dos rios;
- Havendo um aceleração da marcha, os sedimentos atingem o leito menor e maior do rio, podendo sobrevir obstrução total do leito menor.

### 2.6.4 – Distribuição dos Sedimentos Num Curso D'água

A distribuição dos sedimentos num curso d'água pode ocorrer tanto no sentido longitudinal do curso, influenciada pelo declive do leito, como, também, na seção transversal, influenciada, principalmente, pela velocidade do escoamento.

#### 2.6.4.1 – Distribuição na Seção Transversal

A distribuição dos sedimentos numa seção transversal é variável de um lado para outro, sendo melhor expressa em termos de concentração. Considerando que as velocidades são menores perto das margens, as concentrações, também, são menores, aumentando para o centro e depois diminuindo na direção da outra margem (Carvalho, 1994). A Figura 2.6 ilustra a concentração de sedimentos e a descarga sólida nos cursos d'água segundo Carvalho, 1994.

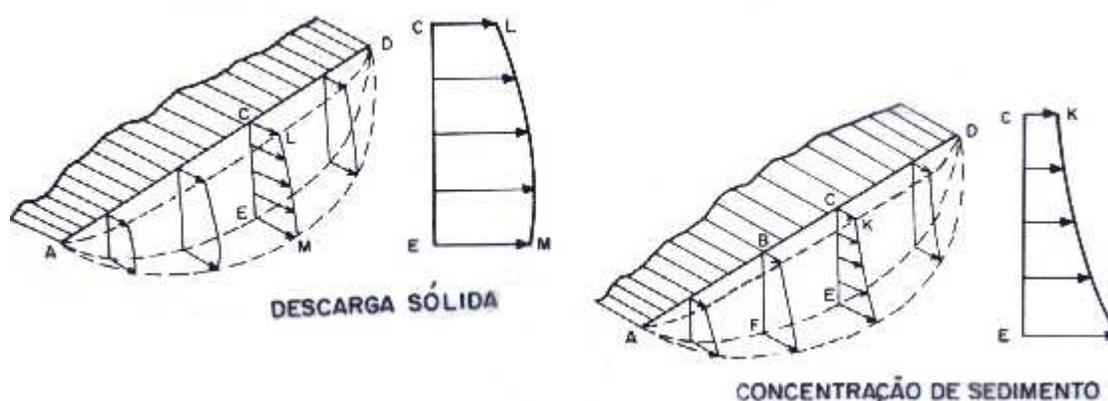


Figura 2.6 – Distribuição da concentração de sedimentos e descarga sólida nos cursos d'água (Carvalho, 1994)

#### 2.6.4.2 – Distribuição Longitudinal

A distribuição longitudinal do sedimento no curso d'água é melhor expressa em termos de produção de sedimento, considerando um valor médio da descarga sólida em relação à área de drenagem da bacia contribuinte. É possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão sendo fracionados, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, passando a areia grossa, média e fina, para jusante. Os sedimentos mais finos são transportados em suspensão, enquanto que os mais grossos são transportados nos leitos. À medida que o curso d'água se desenvolve para jusante, mais material fino é produzido, sendo que parte dele vai sendo depositada nas margens em forma de lama (Carvalho, 1994). A Figura 2.7, a seguir, ilustra os locais de distribuição dos sedimentos em pequenos cursos fluviais ( Marsh, 1991).

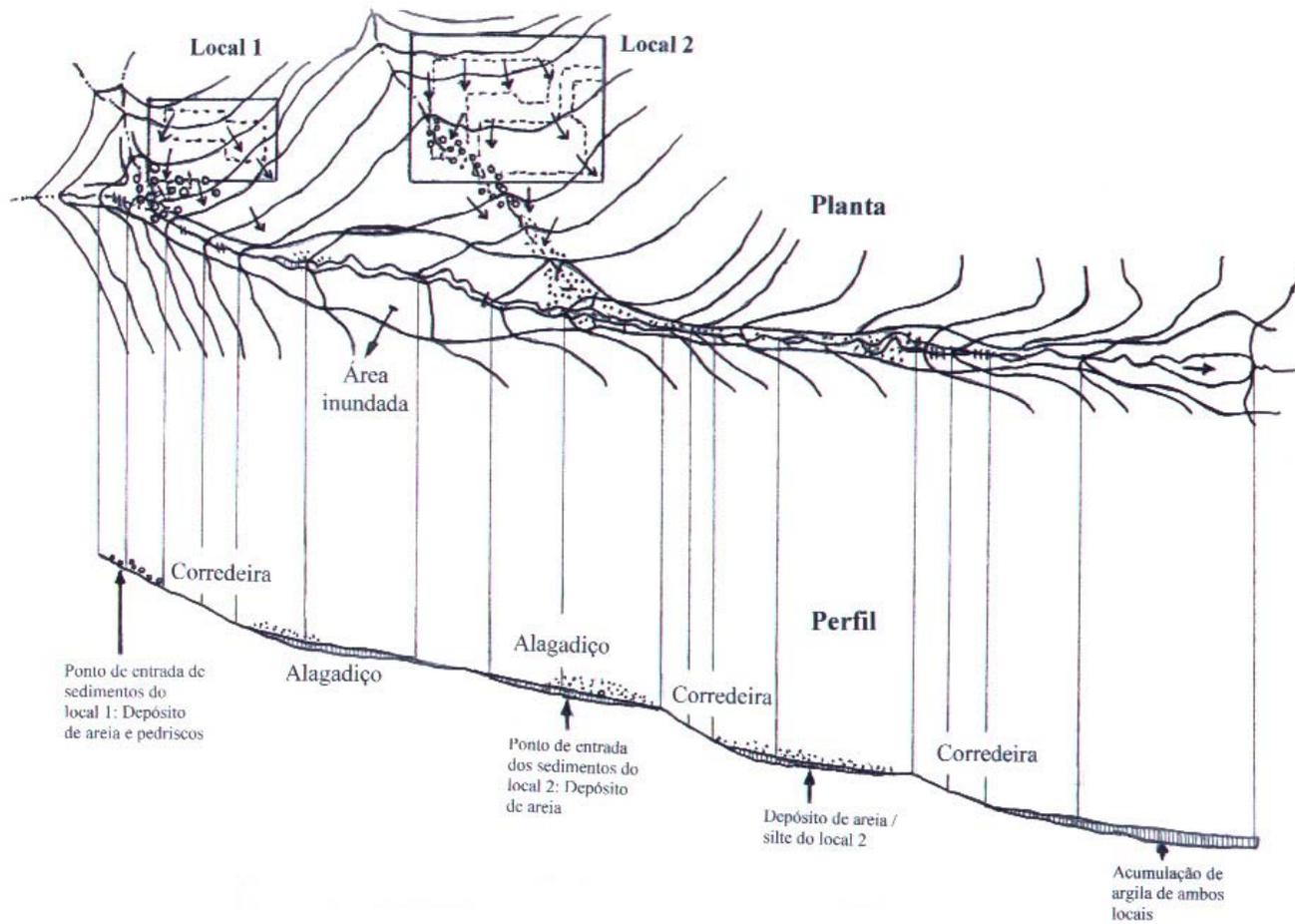


Figura 2.7 – Locais de distribuição de sedimentos em pequenos cursos fluviais (Marsh, 1991)

### 2.6.5 – Formas de Transporte de Sedimentos Num Curso D'água

Os sedimentos que chegam ao curso d'água têm diversas granulometrias e sofrerão um processo de transporte variado de acordo com as condições locais e 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, entre outras (ASCE, apud Carvalho, 1994).

As diferentes formas de transporte da carga de sedimentos intemperizados, segundo Álvares & Flores, apud Nascimento, 2001, são:

- Carga do leito (arraste + rolamento + saltitação) – obtida em função das características hidráulicas da corrente, geometria do canal e propriedades físicas do leito;
- Carga do leito suspensa (suspensão proveniente do leito) – constituída pelos materiais do leito transportados em suspensão pela corrente; a concentração do número de partículas diminui quando a turbulência e a velocidade diminuem. Obtida em função das características hidráulicas da corrente, geometria do canal e das propriedades do fundo; pode também ser obtida em função da concentração de uma amostra de água com partículas suspensas e das propriedades físicas das partículas.
- Carga total do leito (carga do leito + carga do leito suspensa) – formada pelos materiais do leito em movimento e partículas suspensas originários do leito.
- Carga de lavagem (“wash-load”) – constituída por material de granulometria muito mais fina que o material transportado em suspensão provenientes do leito. Origina-se de erosões provenientes das margens do rio e em partes da bacia em estudo. Como este material não é função das características hidráulicas da corrente, somente pode ser avaliado quando tomada uma amostra de água com partículas em suspensão e ser separada a porcentagem representativa da carga de lavagem, a qual não está representada na curva granulométrica do material do fundo.
- Carga em suspensão (carga do leito suspensa + carga de lavagem) –



pontos singulares que possam perturbar sensivelmente o escoamento. O posto deve estar a pelo menos 3 ou 4 km a jusante do desemboque de um afluente, por exemplo;

- Seção de velocidades regularmente distribuídas;
- Velocidade média no trecho superior a 0,3 m/s;
- Seção transversal tanto quanto possível simétrica e com taludes acentuados.

#### 2.6.6.2 – Métodos para Medição da Descarga Sólida Transportada

Desenvolvimento de métodos para determinação da quantidade de sedimentos não é uma tarefa fácil, devido serem os sedimentos provenientes de erosões em: áreas rurais e urbanas, matas e florestas, ruas e estradas, locais em construção, mineração, vales e margens e leitos dos rios, etc (Glymph, 1975).

Por outro lado, os canais de escoamento representam uma rede organizada drenando determinada área, a mensuração da carga detrítica total transportada pelos rios fornece imagem da intensidade erosiva atuante na bacia hidrográfica (Christofolletti, 1981).

Para a medição da descarga sólida num curso d'água, podemos utilizar métodos diretos; que são os de emprego corrente, baseados na determinação de medidas de uma porção de material sólido, e os métodos indiretos; que não requerem a medição direta de quantidades de material sólido, estabelecendo relações entre a descarga sólida, a concentração e outras propriedades do escoamento.

#### 2.6.6.3 – Medição da Descarga Sólida em Suspensão

A descarga sólida medida, em um posto ou estação sedimentométrica, é basicamente constituída de descarga sólida em suspensão. Estima-se que na maior parte dos cursos d'água essa parcela representa mais de 90 % da descarga sólida total (Carvalho, 1994).

Os processos mais utilizados são os de atuação descontínua, recolhendo em intervalos periódicos amostras de água com material sólido em suspensão (Coiado, 1998).

##### 2.6.6.3.1 – Amostragem dos Sedimentos em Suspensão

O sedimento em suspensão não se distribui uniformemente na seção transversal (item 2.6.4.1), assim deve ser considerado esta variação de concentração, tomando amostras ao longo da seção. Segundo Carvalho (1994), as amostras de sedimentos em suspensão podem ser feitas por diversos métodos considerados aceitáveis, dependendo do tipo de equipamento disponível. De uma forma geral, a amostragem pode ser feita pelos métodos pontual ou por

integração na vertical. O pontual é utilizado em medições diretas e indiretas, enquanto que a integração vertical é só utilizada em medições indiretas.

a) Método pontual: a amostragem pontual é utilizada comumente para definir a distribuição vertical da concentração de sedimento e a granulometria na posição de coleta. É utilizada, ainda, para representar a concentração na seção, quando se tem um coeficiente de correção obtido de medições completas anteriores (Carvalho, 1994).

Segundo Carvalho, Yuqian, Garde & Ranga Raju, Manual para Serviços de Hidrometria, apud Coiado (1998), a amostragem pontual pode ser efetuada instantaneamente ou por integração.

Algumas amostragens pontuais mais comuns, numa vertical, segundo Carvalho, Garde & Ranga Raju, CEMIG, apud Coiado (1998) são:

- Uma única amostra à superfície;
- Uma única amostra a 0,6 da profundidade;
- Uma única amostra em posição previamente estudada;
- Duas amostras, uma perto da superfície e outra próxima ao fundo, sendo a concentração calculada pela média dos valores;
- Três amostras, tomadas respectivamente, próximo à superfície, no meio da profundidade e outra próximo ao fundo, sendo a concentração calculada pela média dos valores;
- Três amostras, tomadas respectivamente, próximo à superfície, no meio da profundidade e outra próximo ao fundo, sendo a concentração calculada pela média ponderada dos valores, atribuindo-se peso 2 ;

$$C_m = (C_{1D} + 2.C_{0,5D} + C_{\approx 0,0D})/4 \quad (2.1)$$

onde:

$C_m$  = concentração média;

referencial = fundo

D = profundidade total na vertical considerada.

- Amostras tomadas em vários pontos, para se estabelecer a distribuição vertical com necessária precisão;
- Amostras tomadas em pontos definidos, com correções baseadas em conhecimentos prévios;
- Utilizando o método de Straub, apud Coiado (1998): amostras tomadas a 0,2 e a 0,8 da profundidade D, sendo a concentração média igual a:

$$C_m = 3/8.C_{0,8D} + 5/8.C_{0,2D} \quad (2.2)$$

b) Método por integração na vertical: esse método permite a obtenção da concentração média na vertical, se analisada a amostra independentemente, ou a concentração média em toda a seção, se analisada como um conjunto e segundo os critérios apropriados (Coiado,1998). Em medições rotineiras este método é considerado como o de melhor precisão (Carvalho, 1994 e Garde & Ranga Raju, 1985).

Segundo Carvalho, Garde & Ranga Raju, CEMIG, apud Coiado (1998), a partir de estudos que levaram em conta questões práticas e econômicas, chegaram à conclusão de que o número e a locação das verticais de amostragem podem ser:

- Uma única vertical no meio do rio ou em posição adequadamente estudada;
- Uma única vertical no talvegue ou no local de maior profundidade;
- Três verticais a 1/4, 1/2 e 3/4 da seção transversal;
- Três verticais a 1/6, 1/2 e 5/6 da seção transversal;
- Quatro ou mais verticais nos centros de segmentos iguais da seção transversal;
- Verticais posicionadas a igual incremento de largura;
- Verticais posicionadas nos centros de iguais incrementos de descarga.

A amostragem com uma única vertical é usada em estações de coleta diária, onde o observador é instruído a operar um equipamento - padrão numa vertical criteriosamente escolhida na seção transversal. Essa vertical deve ser previamente escolhida de tal forma a não ter turbulência, estar sempre num ponto com escoamento e de fácil acessibilidade. Os dados de concentração da medição regular devem servir para elaboração de um gráfico de correlação entre a concentração média e a concentração da vertical, a fim de permitir a correção dos valores diários da coleta do observador.

O método de três verticais é também usado em medições diárias, pelo observador, ou em pequenos cursos d'água, pelo hidrometrista. O método de quatro verticais pode também ser utilizado em pequenos rios.

#### 2.6.6.3.2 – Amostradores para Sedimentos em Suspensão

Os equipamentos de amostragem fixos são do tipo que efetuam medições pontuais e são instalados em posições adequadas, depois de devidamente estudado o comportamento do sedimento na seção (Carvalho, 1994).

Os equipamentos de amostragem instantânea não são atualmente de uso generalizado, preferindo-se os amostradores pontuais por integração. Estes fornecem uma amostra mais representativa, obtida com maior tempo de admissão da mistura, levando em

conta a velocidade da corrente. Os equipamentos mais comuns são: US-P-46, US-P-61, US-P-63, US-U-59, amostrador Neyrpick, e a maioria dos amostradores por bombeamento. O US-P-46 é fabricado no Brasil (Coiado, 1998).

Turbidissondas, bombagem e sondas de decantação são meios que também possibilitam a coleta de amostras integradas na profundidade ou no tempo. As turbidissondas são dispositivos automáticos com um recipiente que recolha no interior, em geral de pequenas dimensões, uma certa quantidade de água com o material transportado.

Segundo Coiado (1998), estes equipamentos satisfazem aos seguintes quesitos:

- Tem uma entrada d'água e uma saída de ar independentes;
- Recolhem com uma certa quantidade de água o material em suspensão;
- Tem a velocidade de enchimento igual à velocidade da corrente no ponto de coleta, garantindo a exatidão das concentrações determinadas;
- Tem um bocal de entrada de pequeno diâmetro, o que garante um enchimento lento e desta forma se obtêm uma amostra integrada no tempo.

A seguir, constam exemplos de alguns equipamentos para amostragem em suspensão:

a) Turbidissonda Anderson – Einstein é o tipo mais simples, sendo constituída de uma garrafa fixada a um suporte vertical.

b) Turbidissonda com válvula (Fig. 2.9), permite recolher amostras em um ponto qualquer do escoamento, integradas no tempo.

c) Turbidissonda sem válvula (Fig. 2.10), não pode ser utilizada para coleta de amostras pontuais, sendo integradas em profundidade.

d) Sondas de decantação são aparelhos integradores no tempo e que podem ser utilizados como integradores de profundidade. A garrafa Delft é um exemplo de equipamento desse tipo.

e) Sondas de garrafa, utilizam uma garrafa ou frasco de boca larga com uma tampa, o processo consiste em descer a sonda até a profundidade desejada onde a garrafa é destampada, quando cheia é conduzida à superfície.

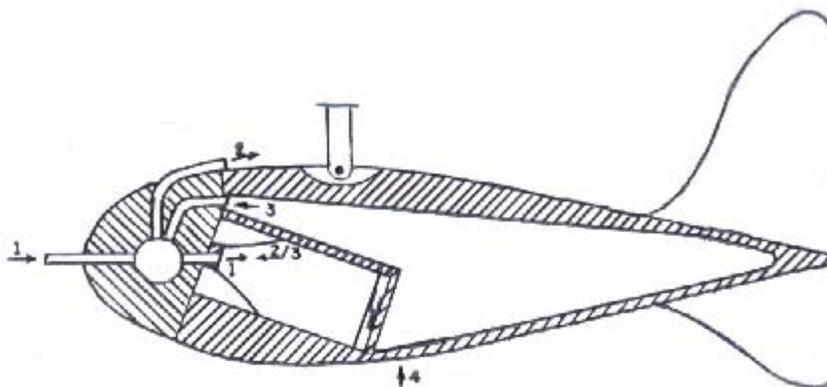


Figura 2.9 – Turbidissonda integradora pontual US-P-50 (Coiado, 1998)

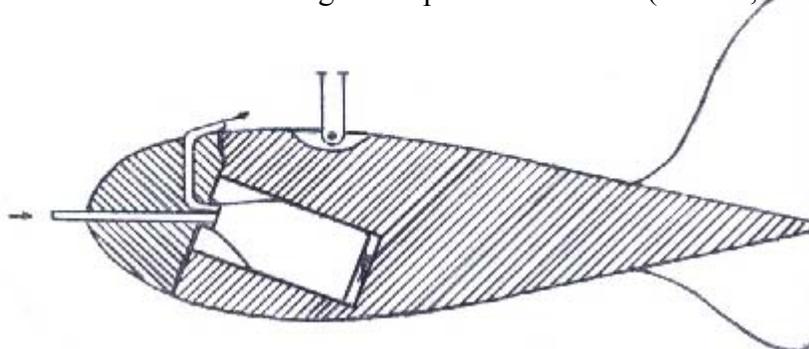


Figura 2.10 – Turbidissonda para amostras integradas em profundidade sem válvula US-D-49 (Coiado, 1998)

A coleta de amostras por bombagem é realizada através de um bocal colocado no meio do escoamento, a bordo de um barco ou em terra firme, por meio do qual se recolhe uma certa quantidade de água e o material transportado, em um recipiente de dimensões maiores que dos equipamentos anteriormente mencionados.

Dos aparelhos, acima citados, os mais recomendados são as turbidissondas pesadas e hidrodinâmicas. A bombagem só é conveniente para o caso de instalações fixas e as sondas quer seja vertical, horizontal ou de garrafa possuem o inconveniente de perturbar o escoamento do curso d'água.

Geralmente, em um posto ou estação sedimentométrica, são obtidas as amostras integradas em profundidade, mas em alguns casos pode ser necessário adquiri-las pontuais integradas no tempo, ou ainda, amostras instantâneas.

#### 2.6.6.3.3 – Critérios de Escolha dos Amostradores para Sedimentos em Suspensão

Quando da medição dos sedimentos suspensos vários fatores devem ser

levados em consideração, tais como: profundidade do curso d'água, descarga líquida, tipo de aparelho que ofereça menores inconvenientes, entre outros. Deste modo, apresentam-se os seguintes critérios de escolha para o tipo de aparelho:

- O escoamento não deve ser perturbado pelo aparelho;
- Rios com grande velocidade de escoamento, o aparelho deve ser hidrodinâmico e pesado;
- O aparelho deve permitir um uso rápido;
- Deve ser adaptável às condições adversas, tais como: operar a partir de barcos ou de cabos atravessados no rio em qualquer profundidade;
- Para medidas pontuais, o aparelho deve abrir e fechar na profundidade escolhida, para não ocorrer mistura com outra profundidade;
- A concentração das amostras recolhidas deve ser representativa para a profundidade escolhida, no caso de medição pontual.

E ainda, os seguintes critérios para o recipiente de coleta de amostra:

- Deve permitir seu envio ao laboratório e ser transparente para observação das partículas sólidas que sedimentam;
- Deve ter volume suficiente para análise do laboratório (volume máximo igual ou inferior a 3/4 do litro);
- Deve permitir uma integração da amostra no tempo.

#### 2.6.6.4 – Medição da Descarga Sólida por Arraste

Os métodos para a medição da descarga sólida por arraste, ainda encontram-se em desenvolvimento, em um posto ou estação sedimentométrica. Assim, segundo Coiado (1998), pode-se dispensar esta medição, devido a mesma significar apenas 5% da descarga total.

##### 2.6.6.4.1 – Amostragem dos Sedimentos em Arraste

De uma forma geral, as amostragens dos sedimentos em arraste são realizadas pelo método direto, que consiste em colocar ao longo da seção transversal o amostrador, para coleta de material por um certo tempo.

##### 2.6.6.4.2 – Amostradores dos Sedimentos em Arraste

Segundo Coiado (1998), quando são utilizados os aparelhos para a medição de transporte por arrastamento, são empregados os que atuam descontinuamente. Aparelhos

que realizam medições contínuas exigem instalações complicadas, e só permitem medições em seções fixas.

A seguir, constam tipos de equipamentos para os sedimentos em arraste:

a) de caixa ou cesto: estes aparelhos são os mais antigos (Coiado, 1998). Segundo Carvalho (1994), o amostrador de cesta ou de caixa opera pela retenção do sedimento que é depositado dentro do recipiente, devido à redução da velocidade da corrente.

b) de tabuleiro: são constituídos por um recipiente de base retangular e pequena altura com paredes metálicas. Foram estudados especialmente na Rússia, sendo também utilizados em outros países (Coiado, 1998).

c) de pressão diferencial: o formato desse aparelho permite uma compensação da perda de carga, de modo que a mistura água – sedimentos entre no recipiente coletor com uma velocidade muito próxima da velocidade da corrente. Neste aparelho foi prevista uma seção longitudinal divergente, convenientemente dimensionada para atuar uma sucção à entrada dos mesmos. Um dos mais utilizados como é o aparelho BTMA (Fig. 2.12), tem a zona divergente relativamente curta e uma caixa de rede do reservatório, com malha 0,3 mm, a jusante onde é recolhido todo material com diâmetro superior ao da malha.

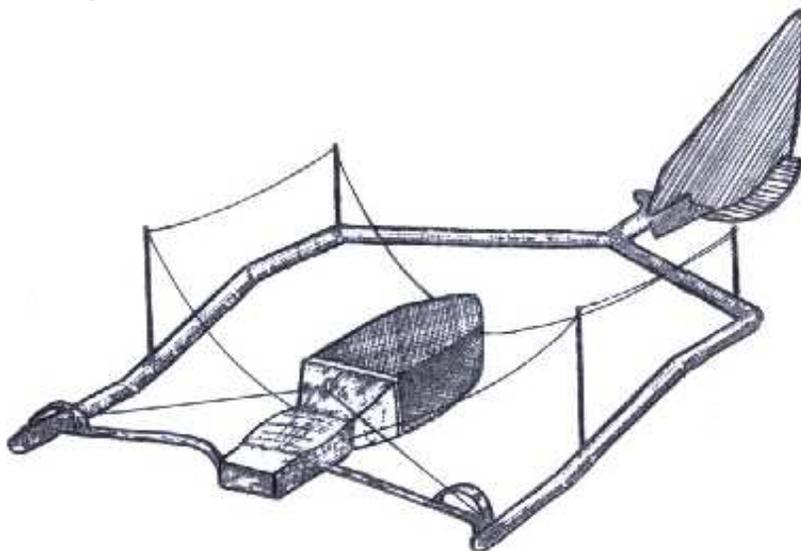


Figura 2.11 – Aparelho BTMA (Coiado, 1994)

#### 2.6.6.4.3 – Critérios de Escolha dos Amostradores para Sedimentos em Arraste

A escolha de equipamentos para sedimentos em arraste depende das condições do curso d'água, assim o tipo:

- De caixa ou de cesto provocam perturbações no escoamento, deste modo, a eficácia fica muito variável, pois recolhem uma quantidade menor de

material; são mais apropriados para rios de regime torrencial;

- De tabuleiro só pode ser utilizado em rios de regime fluvial;
- De pressão diferencial reduz a perturbação que causa ao escoamento normal do rio. Este aparelho deve ser submetido à ensaios de calibração no laboratório, para definição do coeficiente de eficácia, antes de sua utilização no campo.

Segundo Coiado (1998), no caso do aparelho BTMA, observou-se que o coeficiente de eficácia não depende praticamente da velocidade do escoamento, assim quanto ao tempo de observação deve ser de 2 minutos, podendo ser reduzido se ocorrer um enchimento considerado excessivo.

#### 2.6.6.5 – Medição da Descarga Sólida com Uso de Traçadores Radioativos

Segundo Coiado (1998), os traçadores são materiais que têm as mesmas propriedades dos sedimentos que constitui o leito do rio, sendo o que torna possível seguir o comportamento dinâmico dos sedimentos. Os traçadores artificiais são introduzidos pelo homem no escoamento, e já têm sido utilizados para fornecer indicações sobre a direção do movimento ou a velocidade do escoamento. Este uso apenas qualitativo vem sendo realizado há alguns anos, sendo que só ultimamente foi pensado em utilizar traçadores para obtenção de resultados quantitativos, como por exemplo, vazão de transporte sólido por suspensão ou por arrastamento.

#### 2.6.6.6 – Medição do Material do Leito

A aplicação de equações ou modelos para determinação das descargas sólidas transportadas pelos rios e os estudos de assoreamento requerem o conhecimento da granulometria do material que constitui o leito (Coiado, 1998).

Segundo Carvalho (1994), os amostradores de material do leito são utilizados para se obter amostra do sedimento do qual o leito do curso d'água é composto. Não devem ser confundidos com os amostradores de descarga de arrasto.

Podemos classificar os amostradores de leito, segundo Carvalho (1994), em:

- Amostradores de penetração horizontal: caçamba de dragagem e de concha;
- Amostradores de penetração vertical: de tubo vertical, de escavação, caçamba de raspagem e equipamentos de escavação de pedregulho.

## 2.6.7 - Equações Propostas para Quantificar os Sedimentos

Segundo Garde & Ranga Raju (1985) para uma bacia hidrográfica “grande” a produção de sedimentos é determinada em uma estação de medição sobre o rio, podendo ser expressa em termos de volume aparente (VS), ou volume absoluto (VSA), de sedimentos que passa através da estação de medição em cada ano.

Os parâmetros que afetam o volume aparente (considerando o volume de vazios), ou volume absoluto (sem considerar o volume de vazios), são:

$A$  = área da bacia hidrográfica em  $\text{km}^2$ ;

$S$  = declividade média da bacia;

$P$  = precipitação média anual em  $\text{cm}$ ;

$Q$  = escoamento médio anual em  $\text{Mm}^3$ ;

$Dd$  = densidade de drenagem, definido: comprimento total do canal / área da bacia, em  $\text{km}^{-1}$ ;

$Fc$  = fator erodibilidade.

### 2.6.7.1 – Equações de Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985)

Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985), estudou dados de trinta e duas bacias hidrográficas da Índia, por análise de regressão, obteve para o volume absoluto (VSA), as seguintes equações:

$$\mathbf{VSA = 1,182 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,026} \cdot P^{1,289} \cdot Q^{0,287} \cdot S^{0,075} \cdot Dd^{0,398} \cdot Fc^{2,422}} \quad (2.3)$$

$$\mathbf{VSA = 1,067 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,292} \cdot P^{1,384} \cdot S^{0,129} \cdot Dd^{0,397} \cdot Fc^{2,51}} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{VSA = 2,41 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,154} \cdot P^{1,071} \cdot S^{0,06} \cdot Fc^{1,893}} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{VSA = 4,169 \cdot 10^{-5} \cdot A^{0,841} \cdot P^{0,139} \cdot Q^{0,312}} \quad (2.6)$$

Baseado nesse estudo, Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) classificou a vegetação em diferentes categorias, obtendo valores empíricos para o fator erodibilidade (Fc), conforme está ilustrado no Quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Valores do Fator Erodibilidade (Fc), segundo Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985)

| <b>Tipo de vegetação</b> | <b>Fc</b> |
|--------------------------|-----------|
| Floresta conservada      | 0,20      |
| Floresta sem conservação | 0,40      |
| Área cultivada           | 0,60      |
| Pasto, relva e arbustos  | 0,80      |
| Área agreste / devastada | 1,00      |

#### 2.6.7.2 – Equação de Klosla (Garde & Ranga Raju, 1985)

Khosla (Garde & Ranga Raju, 1985), relacionou o volume aparente (VS) com a área da bacia (A), obtendo a seguinte equação:

$$VS = 3,23 \cdot 10^{-3} \cdot A^{0,72} \quad (2.7)$$

onde:

VS = volume aparente em Mm<sup>3</sup>;

A = área da bacia em km<sup>2</sup>.

#### 2.6.7.3 – Equação de KirKby (Garde & Ranga Raju, 1985)

Kirkby (Garde & Ranga Raju, 1985), propôs a equação descrita a seguir:

$$VS = 2,33 \cdot 10^{-4} \cdot S^a \cdot L^b \cdot A \quad (2.8)$$

onde:

VS = volume aparente em Mm<sup>3</sup>;

S = declividade da bacia;

L = comprimento do talvegue da bacia em km;

A = área da bacia em km<sup>2</sup>;

a e b = constantes, variando entre **0,4 a 1,9** e **0,6 a 1,0**; respectivamente.

### 2.6.8 – Generalidades: Sedimento como um Poluente?

O sedimento é produto de um processo seletivo no qual partículas mais finas e leves são, preferencialmente, removidas e transportadas pelas enxurradas para dentro de algum curso d'água. Geralmente, o sedimento é constituído por argila, silte e matéria orgânica, o que lhe confere uma grande capacidade de absorção de patogêneses, viroses, nutrientes das plantas, pesticidas, entre outros.

Assim, a identificação e controle desse poluente requer a compreensão das propriedades físicas e químicas dos sedimentos e a determinação dos possíveis locais de origem.

Glymph (1975) declara: “longe de estarmos satisfeitos com o conhecimento do volume dos sedimentos, em muitos casos devemos, também, conhecer as propriedades constituintes dos sedimentos em relação à suas origens”.

Por exemplo, o hidrocarboneto clorado (grupo dos orgânos clorados), conhecido comercialmente como “Dieldrin”, o qual foi extensivamente utilizado nos EUA, para controle fito-sanitário do milho (*Crambus coliginosellus clemens*), tem baixa solubilidade em água, mas é altamente absorvido pelas partículas de solo. Conseqüentemente, tal pesticida não consegue infiltrar-se no solo pela água, porém significantes quantidades podem ligar-se aos sedimentos e, ocorrendo a erosão, poderão atingir algum curso d'água (Glymph, 1975).

O fósforo aplicado como fertilizante é altamente adsorvido sobre as partículas de solo, podendo ser transportado, para a calha de um rio, através de sedimentos provenientes de erosões no solo (Glymph, 1975).

No Vale do Missouri – EUA, estudos mostraram que o nitrogênio utilizado como fertilizante, o qual é altamente solúvel em água, também deixa a superfície do solo através da adsorção ao sedimento, e ocorre em proporções maiores do que as supostas. Segundo Glymph (1975), num estudo de duas bacias hidrográficas cultivadas com milho em contorno, recomendou-se fertilizar com nitrogênio nas seguintes quantidades: 68 kg de N/acre/ano e 181 kg de N/acre/ano. Para o período de três anos (1969 a 1971), na bacia com alta fertilidade o tratamento resultou em: 1,2 kg de N/acre dispersos por escoamento superficial e 15 kg de N/acre adsorvidos aos sedimentos, e na bacia com baixa fertilidade o tratamento resultou em: 1 kg de N/acre dispersos por escoamento superficial e 9,3 kg de N/acre adsorvidos aos sedimentos.

## 2.7 - A ESTIMATIVA DA EROSÃO: EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Pode-se afirmar que a ciência da conservação do solo apareceu a pouco mais de 70 anos, com a criação do Serviço de Conservação do Solo, nos EUA, logo após o célebre desastre ecológico no "Dust Bowl". Segundo Costa (1988), as primeiras medições de solo perdido começaram nos EUA em 1912, em pastos super utilizados, na região de UTAH. Em 1917, Miller et alii, apud Costa (1988), conduziram pesquisas em lotes experimentais na Estação Experimental Agrícola de Missouri.

Considerado o Pai da "Conservação do Solo", Hugh Hammond Bennet (década de 20), através de seus escritos e palestras, alertou sobre os grandes perigos e prejuízos causados pela erosão. Bennet acompanhou as pesquisas sobre a erosão em 10 estações experimentais, onde foram utilizadas e melhoradas as técnicas iniciadas por Miller.

Em 1936, H. L. Cook (Costa, 1988) identificou as principais variáveis envolvidas na erosão:

- Disposição que um solo apresenta a erosão;
- Potencial erosivo da chuva que incluía o declive e o comprimento da vertente;
- Grau de proteção oferecido pela cobertura vegetal.

Em 1939, autores norte-americanos estimaram em 2,7 bilhões de toneladas a quantidade de materiais que a erosão retirava, por ano, dos campos e pastagens (Branco & Rocha, 1984).

Em 1940, A. W. Zingg (Wischmeier & Smith, 1978), elaborou uma equação relacionando a intensidade de perdas de solo com o comprimento e com o grau de declive do terreno.

Em 1941, Smith (Wischmeier & Smith, 1978), acrescentou-lhes os fatores : práticas conservacionistas e culturais, instituiu o conceito de limite específico de perdas de solo, a fim de organizar um método gráfico para estabelecer as práticas conservacionistas para a sua região de trabalho.

Browning et alii (Wischmeier & Smith, 1978), acrescentaram os fatores: erodibilidade e manejo do solo, preparando ainda um conjunto de tabelas para simplificar sua utilização no campo.

Em 1946, OHIO - EUA (Wischmeier & Smith, 1978), uma comissão nacional para predição das perdas de solo reuniu-se com a finalidade de adaptar a equação de CORN BELT a outras áreas cultivadas, com problemas de erosão pela chuva. Essa comissão reestudou cada fator em separado e acrescentou-lhe o fator chuva.

O trabalho desse grupo culminou com uma nova equação, conhecida como Equação (2.9) de Musgrave, que foi largamente empregada para estimativas globais de erosão em bacias hidrográficas incluídas em programas para redução de inundações (Wischmeier & Smith, 1978).

Equação de Musgrave (Renfro, 1975):

$$E = F (R/100) \cdot (S/10)^{1,35} \cdot (L/72,6)^{0,35} \cdot (P_{30}/1,25)^{1,75} \quad (2.9)$$

onde:

E = provável perda de solo, em t / acre / ano;

F = fator do solo, baseado na erodibilidade do solo e outros fatores físicos;

R = fator referente à cobertura vegetal, o qual pode ser produto de muitos fatores relacionados com o uso do solo;

S = inclinação do declive em porcentagem (com 10 % como base);

L = comprimento do declive, em pés (com 72,6 pés como base);

P<sub>30</sub> = chuva; o total utilizado é a intensidade máxima da chuva em 30 min, esperada numa localidade, com freqüência de 2 anos, em polegadas (freqüência em valores anuais e máximos).

Após anos de utilização no campo, pelas entidades oficiais de Conservação do Solo, considerou-se a equação de predição de perdas do solo como um recurso para orientar o planejamento conservacionista.

Porém, a equação não pode ser difundida à novas áreas, devido à falta de informações básicas e métodos para adaptar os valores dos fatores determinados por:

- Diferenças na distribuição das chuvas;
- Tipos de chuvas esperadas;
- Práticas agrícolas locais;
- Duração do período de desenvolvimento da cultura, entre outras variáveis.

Em 1954, no "RUNOFF e SOIL - LOSS DATA CENTER", do "Agricultural Research Service", com sede na Universidade de Purdue - EUA, foi desenvolvida a atual equação de perdas de solo, cujo aperfeiçoamento resultou da reunião e interpretação analítica dos dados básicos de perdas de solo e de água disponíveis em vários locais dos EUA, sob orientação de W. H. Wischmeier (Wischmeier & Smith, 1978).

Entre 1956 e 1965 foram testados milhares de dados adicionais o que tornou ainda mais válida a equação.

Contudo, as primeiras conclusões não levavam em consideração o fator referente à chuva. Em 1965, com a inclusão do fator, a equação tomou a sua forma definitiva, incorporado por Wischmeier & Smith.

Segundo Wischmeier & Smith (1978), várias melhorias de importância foram introduzidas na equação, tais como:

- Índice de erosão de chuva;
- Método de avaliar os efeitos do manejo e cultura com vistas às condições climáticas locais;
- Fator quantitativo de erodibilidade do solo;
- Método que leva em conta os efeitos de inter-relações de certas variáveis: nível de produtividade, seqüência de culturas e manejo dos resíduos.

Em consequência das melhorias acima citadas, a equação superou as restrições climáticas e geográficas, próprias dos primeiros estudos, passou a designar-se Equação Universal de Perda de Solo, devido à sua aplicação generalizada.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) no Brasil, os trabalhos iniciais sobre a Equação de Perdas de Solo foram desenvolvidas por Bertoni et al. (1975), utilizando dados existentes para as condições do Estado de São Paulo. A partir de 1975, vários autores vêm tentando avaliar os fatores da equação para outras regiões tropicais.

### 2.7.1 - Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) a EUPS exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão hídrica e é dada por:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.10)$$

onde:

A= perda de solo média anual ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

R= fator chuva ( $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

K= fator erodibilidade ( $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );

L= fator relativo ao comprimento do declive (adimensional);

S= fator grau de declive (adimensional);

C= fator de uso e manejo (adimensional);

P= fator prática conservacionista (adimensional).

## 2.7.2 - Análise dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo

### 2.7.2.1 - Fator Chuva (R)

É um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de provocar erosão sobre o solo.

A erosão, na sua forma inicial, é caracterizada pela desagregação do solo, dispersão das partículas e formação do escoamento superficial com arraste de partículas. A ação da desagregação não é mais do que um trabalho que consome energia mecânica .

Deste modo, é a energia cinética da chuva que provoca erosão, através do "bombardeio", ou seja, impacto das gotas de água no solo.

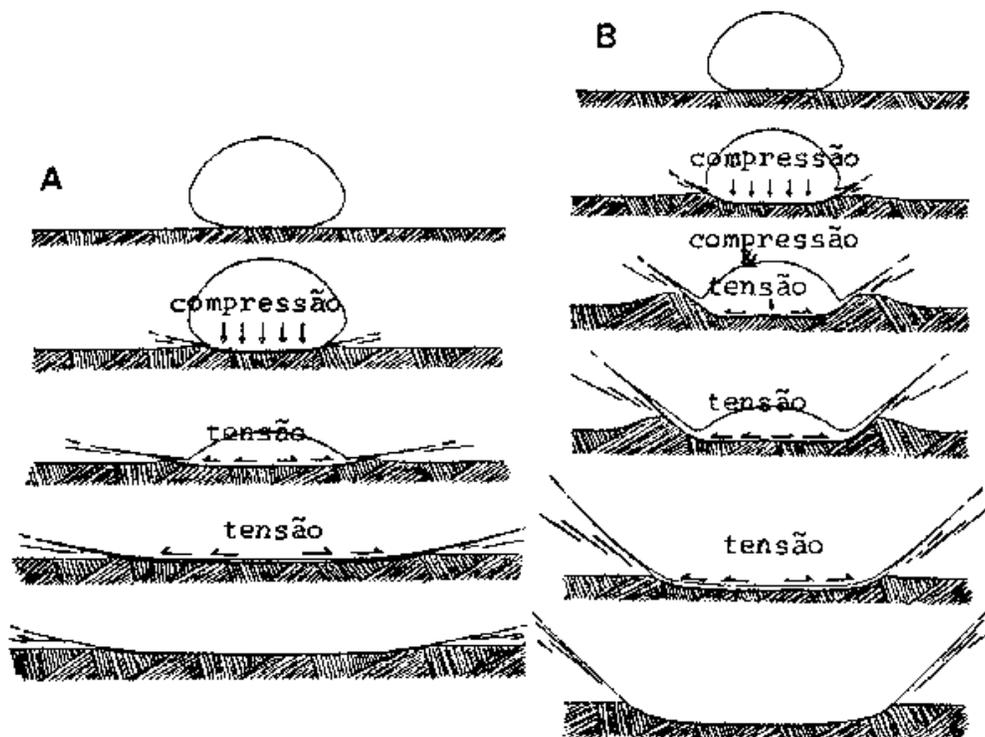


Figura 2.12 - Esquema do mecanismo de impacto da gota d'água em planos de: A) alta e, B) baixa resistência (Nearing, 1993).

Depois do impacto, uma saliência forma-se ao redor da área de impacto (Al - Durrah e Bradford, Huang et al, apud Nearing, 1993), e ocorre um jato lateral de água. A baixa resistência do solo desenvolve uma saliência e um ângulo da gota grande (Fig. 2.12). Isto é uma combinação da alta pressão da água refletindo na formação de saliência e da alta velocidade do jato lateral, as quais destacam partículas de solo sob a gota.

Uma vez destacadas, as partículas de solo podem mover-se um metro ou mais, em todas as direções, ao redor do ponto de impacto.

Os primeiros experimentos de laboratório induziam que a erosividade dependia da energia cinética da chuva, porém não se conseguia provar que esta hipótese era condizente com as perdas de solo causada pela chuva. Segundo Costa (1988), Wischmeier & Smith, confirmaram esta hipótese e provaram que é fraca a correlação entre a perda de solo versus chuvas distintas e, também, entre a erosão versus intensidades de chuvas.

Por conseguinte, a melhor relação encontrada para a perda de solo, provocada pela chuva, é o parâmetro composto que resulta do produto:  $E \cdot I_{30}$ , onde:

$E_c$  = energia cinética da chuva (energia / área . altura da chuva);

$I_{30}$  = intensidade máxima da chuva em 30 minutos (altura da chuva/0,5hora).

O índice de erosão ou medida da erosividade é conhecido por :  $E \cdot I$ .

Bertoni & Lombardi Neto (1990), afirmam que Lombardi & Moldenhauer, utilizando 22 anos de registros de precipitação da cidade de Campinas encontraram alto coeficiente de correlação para regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o altura de chuva, modificando o coeficiente original proposto por Fournier a relação obtida é:

$$E \cdot I = 67,355 \cdot (r^2 / p)^{0,85} \quad (2.11)$$

onde:

$E \cdot I$  = média mensal do índice de erosão em MJ / ha . mm / h;

$r$  = precipitação média mensal em mm;

$p$  = precipitação média anual em mm.

O índice de erosão médio anual, isto é, o fator chuva (R) para um local será a soma dos valores mensais dos índices de erosão, para um longo período de tempo, 20 anos ou mais. Essa equação estima com relativa precisão os valores médios do índice de erosão (E . I), de um local utilizando somente totais de precipitações de chuva, os quais são únicos dados disponíveis para muitos locais.

#### 2.7.2.2 - Fator Erodibilidade do Solo (K)

É um índice numérico que expressa a maior ou menor vulnerabilidade que o solo apresenta ao seu desgaste / desagregação pela água, sendo, portanto, o inverso da resistência à erosão. A erodibilidade depende dos fatores: propriedades físicas e físico-químicas, tais como: textura, composição, coesividade, estrutura, permeabilidade, capacidade de armazenamento de água, velocidade de infiltração, resistência às forças de dispersão, salpico e abrasão, entre outros.

Os métodos utilizados para avaliar a erodibilidade do solo divide-se em: indiretos, aqueles que se baseiam num grupo de propriedades do solo, e diretos, determinados por experimentos, onde o solo é submetido à chuvas de erosividade conhecida e, deste modo, é medida a quantidade de material perdido.

#### 2.7.2.3 - Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS)

O comprimento da vertente e seu respectivo declive influi, sobremaneira, na velocidade do escoamento superficial e, por conseguinte, nas perdas por erosão. Estes dois fatores, pesquisados separadamente, representados na equação de perda de solo por L e S, são considerados como um único fator topográfico LS, na aplicação prática da equação (Wischmeier & Smith, 1978).

No Brasil, segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), utilizando os dados das determinações de perdas por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, numa média de 10 anos de observações em talhões de diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, determinou-se uma equação que permite calcular o fator LS:

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (2.12)$$

onde:

C = comprimento de rampa do terreno em metros;

D = grau de declive do terreno em %.

Porém, Bertoni & Lombardi Neto (1990), fazem o seguinte alerta, quanto aos critérios de obtenção do fator LS: o efeito do comprimento e grau de declive, assim estabelecidos, pressupõe declives essencialmente uniformes, isto é, não se considera se eles são côncavos ou convexos, pois seus efeitos nas perdas por erosão não estão ainda avaliados.

Entretanto, dados escassos indicam que a utilização do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de declives convexos e, por outro lado, superestimar aquelas de declives côncavos.

#### 2.7.2.4 - Fator Uso e Manejo do Solo (C)

É um parâmetro que mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura vegetal e manejo que podem ser aplicados ao solo. Para uma maior praticidade Bertoni & Lombardi Neto (1990) propuseram o estabelecimento de cinco períodos uniformes (ao ano), em relação ao efeito da cobertura vegetal:

- a) Do preparo ao plantio;
- b) Do plantio até o primeiro mês;
- c) Do primeiro mês ao segundo mês após o plantio;
- d) Do segundo mês até a colheita;
- e) Da colheita ao preparo de solo.

Em cada um destes períodos é determinado um valor de razão de perdas de solo, que combinado com o valor do fator R, no intervalo de tempo, deriva os valores do fator C.

A seguir, o Quadro 2.9 contém os valores do fator uso e manejo do solo (C), segundo Marsh (1991).

Quadro 2.9 – Valores de C (Marsh, 1991)

|                     |     | % Cobertura do Solo |     |     |      |      |         |
|---------------------|-----|---------------------|-----|-----|------|------|---------|
|                     |     | 0%                  | 20% | 40% | 60%  | 80%  | 95-100% |
| % Cobertura Vegetal | 0%  | .45                 | .20 | .10 | .042 | .013 | .003    |
|                     | 25% | .39                 | .18 | .09 | .039 | .013 | .003    |
|                     | 50% | .39                 | .16 | .08 | .038 | .012 | .003    |
|                     | 75% | .27                 | .10 | .08 | .035 | .012 | .003    |
|                     |     | .45                 | .20 | .15 | .09  | .043 | .011    |
|                     |     | .39                 | .22 | .14 | .085 | .042 | .011    |
|                     |     | .39                 | .19 | .13 | .080 | .040 | .011    |
|                     |     | .32                 | .18 | .12 | .080 | .040 | .011    |

|   |  |
|---|--|
| 1 |  |
| 2 |  |

1 - Superfície coberta com relva, pasto ou menor, com 5 cm de altura.

2 - Plantas com folhas largas, ervas arbustivas e árvores de pequeno porte

#### 2.7.2.5 - Fator Prática Conservacionista (P)

Este fator consiste da relação esperada entre as perdas que ocorrem sob determinada prática de controle de erosão e as que ocorreriam, se o solo fosse preparado, morro abaixo, mantidas as condições - padrões de relevo e de uso e manejo do solo. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), as práticas de conservação, mais usuais, são: plantio em contorno ou cultivo em curvas de nível, plantio em faixas e terraceamento.

#### 2.7.3 - Considerações sobre a Equação Universal de Perda de Solo

A estimativa da erosão em uma área específica da bacia hidrográfica, através da utilização da EUPS, tem sido uma boa maneira de orientar os técnicos e agricultores nos trabalhos de planejamento do uso e manejo do solo.

Deste modo, pode-se aferir e constatar erosões em diferentes situações, tanto as em ações presentes como para as que possam surgir no futuro. Assim, se forem adotadas todas as medidas cabíveis e indicadas para um planejamento conservacionista, pode-se minimizar ou eliminar, a longo prazo, os problemas de erosões numa área específica. Conseqüentemente, haverá inúmeros benefícios nos locais onde se constatam problemas de inundações, tomadas de água, assoreamento de reservatórios, entre outros.

Porém, quando se pretende estimar a erosão, através da EUPS, deve-se estar atento para alguns aspectos relevantes:

- Utilização da EUPS:

A EUPS foi desenvolvida para vários usos no campo, servindo basicamente como instrumento para os técnicos, quando se pretende chegar a uma sistematização de um planejamento conservacionista para uma dada área.

Muitas variáveis e interações influenciam na erosão, portanto, a equação agrupa estas variáveis sob seis fatores, os mais importantes, e o produto dos mesmos representa a média anual de perda de solo para uma série de condições específicas. Por conseguinte, os principais objetivos de utilização são:

- Prever o movimento médio anual do solo a partir de uma dada declividade de campo e sob um determinado uso do solo e condições de manejo;
- Orientar a seleção de práticas conservacionistas para um dado local;

- Estimar uma redução acessível da perda de solo com o emprego de várias alterações no sistema de plantio ou em diversas outras práticas conservacionistas;
- Determinar quando um dado solo pode ser seguramente cultivado: em contorno ou curva de nível, terraceamento ou em faixas de contorno;
- Determinar o comprimento máximo do declive para uma dada cultura e o sistema de manejo que pode ser tolerado no campo;
- Fornecer dados de perda de solo em locais específicos para os técnicos do serviço de conservação do solo;
- Fazer estimativas aproximadas das perdas de solo em áreas de recreação, loteamentos, florestas, etc.

- **Confiabilidade da EUPS:**

Sabe-se que toda equação de origem empírica envolve erros experimentais e erros, em potencial, de estimativa, devido à efeitos de variáveis não mensurados. No entanto, vários pesquisadores afirmam que quando não se tem condições de obter os valores reais das perdas de solo numa determinada área, a utilização da EUPS deve ser reconhecida como a melhor maneira disponível para estimar estas perdas. As inúmeras pesquisas realizadas para comprovar a confiabilidade desta equação indicam que, para se obter bons resultados nas previsões, deve-se aplicá-la em parcelas distintas onde todos os fatores possam ser avaliados para cada localidade, durante um período de tempo específico. Pois fatores como chuva (R), uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) são dinâmicos no tempo. Assim, deve-se tomar precauções corretas para não se incorrer a erros e falsas conclusões, devido à aplicação incorreta dos fatores da EUPS. Devido ao extenso uso desta equação, durante duas décadas, em planejamento de programas regionais de conservação do solo, os técnicos e pesquisadores consideram-na como boa. Os resultados apresentados são bem próximos do real, em decorrência das análises entre os dados colhidos no campo e os dados medidos através de experimentos.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - MEDIDAS FLUVIOSSIDIMÉTRICAS NA SEÇÃO DE MEDIDAS - RIO ATIBAIA

##### 3.1.1 - Introdução

Para este estudo foram realizadas, numa primeira fase, medições, determinações e cálculos dos seguintes parâmetros:

$Q$  = descarga líquida;

$Q_{ss}$  = descarga sólida em suspensão;

$Q_{sa}$  = descarga sólida transportada junto ao leito  
( arraste, rolamento e saltitação ).

##### 3.1.2 - Seção de Medidas

A seção de medidas coincide com a seção onde se localiza uma passarela de pedestre (antiga ponte de trem - Figura 3.1). A seção é bem simétrica; como pode ser visto na Figura 3.2, obtida através de batimetrias realizadas em outras pesquisas em desenvolvimento.

##### 3.1.3 - Hidrometria

###### 3.1.3.1 - Medição de Vazão

As medições de vazão foram realizadas pelo Método Velocidade e Área, que consiste nas seguintes operações:

a) Realização da batimetria na seção de medição para a determinação da área de escoamento e do perímetro molhado;

- b) Medições das velocidades médias nas verticais de 1 a 7 (Figura 3.2);
- c) Leitura da régua linimétrica instalada na extremidade a jusante do trecho em estudo.

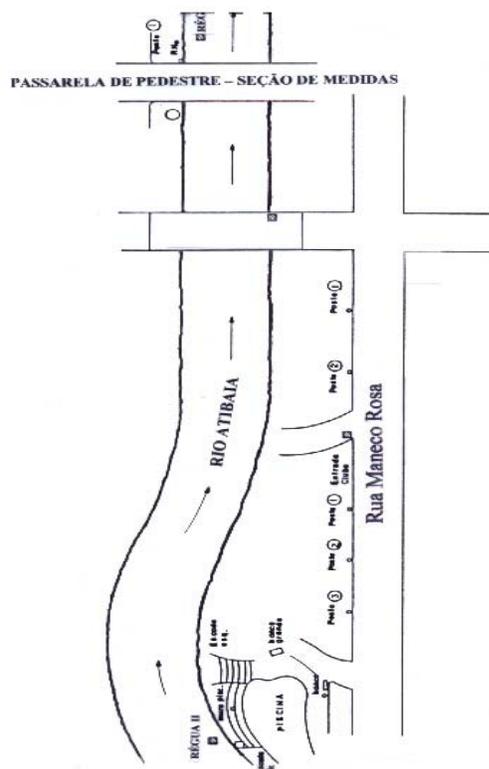
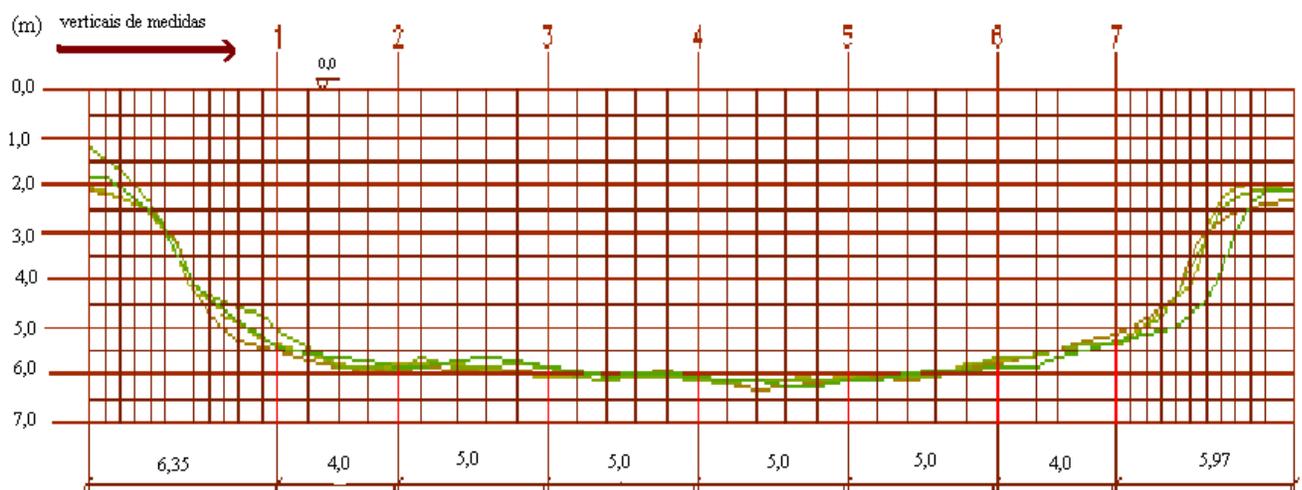


Figura 3.1 – Croqui com as posições das régua linimétricas e a seção de medidas.



Perfil em verde: 14/03/1997  
 Perfil em marrom: 04/10/1999

Figura 3.2 - Seção de medidas - rio Atibaia - Dist. de Sousas/Campinas/SP

O cálculo da vazão é dada por:

$$Q = \sum_{i=1}^n \overline{V_i} \cdot \overline{Y_{mi}} \cdot l_i \quad (3.1)$$

onde:

$\overline{V_i}$  = velocidade média medida na vertical i;

$\overline{Y_{mi}}$  = profundidade da faixa de influência i;

$l_i$  = largura da faixa de influência.

As medidas de velocidades foram feitas com um molinete fluviométrico da marca IH. Testes anteriormente feitos, posicionando o molinete nos pontos 0,0Y; 0,2Y; 0,4Y; 0,6Y; 0,8Y e Y indicaram que a velocidade média coincide com aquela localizada a 0,6Y (Paiva, 1994). Portanto, o molinete foi posicionado a 0,6Y, onde Y é a profundidade total. No caso o referencial foi a superfície livre da água.

### 3.1.4 - Sedimentometria

#### 3.1.4.1 - Medição da Descarga Sólida de Fundo

O escoamento do material de fundo foi medido pelo método direto, utilizando-se um amostrador do tipo ARNHEM – BTMA (Figura 3.3). O processo de medição consiste em fazer descer o aparelho ao fundo, deixando-o nesta posição por um determinado período, e recolhendo-o posteriormente.

Após um período de testes concluiu-se em deixar o amostrador no fundo do rio nas posições verticais (2), (4) e (6) durante quarenta minutos em cada vertical.

O cálculo da descarga sólida de fundo foi realizado através da fórmula:

$$Q_{sa} = \frac{\sum g_{sai} \cdot l_i}{0,085} \quad (\text{t/dia}) \quad (3.2)$$

onde:

$l_i$  = faixa de influência da medição em metro;

$g_{sai}$  = descarga sólida em massa seca que passa pela boca do aparelho,

sendo,

$$g_{sai} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i \cdot P_s}{\Delta t_i} \quad (3.3)$$

onde:

$P_s$  = massa do sólido seco coletado pelo aparelho num intervalo de tempo  
 $\Delta t_i$  em t;

$K_i$  = constante de correção do aparelho  $\cong 0,70$ .

O aparelho utilizado ARNHEM BTMA, é do tipo deprimogêneo, e consiste numa caixa de tela, com formato divergente na parte posterior, que provoca uma diminuição de pressão, e conseqüentemente no aumento da velocidade, compensando assim a perda de carga provocada pela presença da tela. O uso deste aparelho é recomendado para cursos de baixa declividade, com material fino superior a 0,3mm (diâmetro da tela).



Figura 3.3 – Amostrador tipo ARNHEM – BTMA.

### Massa do sólido seco coletado (Ps)

O material sólido coletado pelo amostrador ARNHEM - BTMA foi colocado num cadim de massa conhecida (pc) e submetido inicialmente à secagem em estufa durante 24 horas e 103°C. Decorrido este período o cadim foi resfriado num dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado obtendo-se a massa (pca). A diferença (pca - pc) resulta na massa dos sólidos totais recolhidos pelo amostrador. A seguir, o cadim com a amostra foi levado a uma mufla onde foi submetido à temperatura de 550°C durante 30 minutos, assim os sólidos voláteis (matéria orgânica) foram eliminados. Decorridos os 30 minutos, a amostra foi resfriada novamente até atingir a temperatura ambiente e pesada, obtendo-se a massa pca'. A diferença (pca' - pc) resulta na massa dos sólidos fixos (areia, seixo e outros).

#### 3.1.4.2 - Medição da Descarga Sólida em Suspensão

O equipamento utilizado para a medição da descarga sólida em suspensão, foi o amostrador do tipo AMS - 3, que consiste numa peça de ferro fundido de formato hidrodinâmico, com aletas direcionadoras e um bocal, para a coleta do material. No seu interior foi colocada a garrafa amostradora com capacidade de 1 litro (Figura 3.4).

Este tipo de amostrador possibilita somente a amostragem do tipo integrado, ou seja, a coleta foi feita em uma vertical durante o trajeto de descida do aparelho até as proximidades do fundo, e subida até a superfície, com a mesma velocidade, tal que a garrafa coleta um volume máximo, igual ou inferior a 3/4 do litro.

As amostras foram feitas nas sete verticais indicadas na Figura 3.2.

A descarga sólida medida numa determinada vertical é dada pela expressão:

$$g_{ssi} = C_i \cdot P_i \cdot Q \cdot 0,0864 \quad (3.4)$$

onde:

$g_{ssi}$  = descarga sólida em suspensão da vertical i em t / dia;

$C_i$  = concentração medida em ppm;

$P_i$  = porcentagem de vazão líquida que passa na faixa de influência desta vertical;

$Q$  = vazão líquida total em m<sup>3</sup>/s.

A descarga sólida total do material em suspensão que passa pela seção é dada pela somatória das descargas sólidas parciais.



Figura 3.4 – Amostrador tipo AMS – 3.



Figura 3.5 – Passarela de pedestres – seção de medição – Distrito de Sousas/ Campinas/SP e o suporte do amostrador AMS – 3.

### Determinação da concentração (Ci)

De cada amostra coletada pela garrafa amostradora; após a agitação da amostra para uma homogeneização perfeita, retirou-se mais ou menos 200 ml da amostra, que foram filtrados num microfiltro, utilizando-se de uma bomba a vácuo acoplada num suporte milipor para filtro de 4,7cm de diâmetro. Antes da filtragem, o microfiltro foi seco numa mufla a 550°C, durante 15 minutos. Decorrido este tempo, o microfiltro foi resfriado num dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado obtendo-se a massa (pf) em mg.

O microfiltro e os sólidos retidos na operação de filtragem foram secos numa estufa a 103°C, durante 24 horas. Decorridas estas horas, o filtro foi resfriado num dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado obtendo-se a massa (pfa).

A diferença (pfa - pf) resulta na massa dos sólidos totais, retidos pelo microfiltro, existente no volume filtrado (vf).

Após a segunda pesagem, o filtro foi submetido à temperatura de 550°C, numa mufla, durante 30 minutos. Ao final deste tempo, o filtro foi resfriado num dessecador até atingir a temperatura ambiente, e pesado obtendo-se a massa pfa'. A diferença (pfa' - pf) resulta na massa dos sólidos fixos existentes no volume filtrado (vf).

As concentrações Ci de cada amostra foram calculadas através das seguintes relações:

$$C_i = \frac{pfa - pf}{vf} \quad (3.5)$$

onde:

Ci = concentração dos sólidos totais em suspensão em ppm;  
 pfa = massa dos sólidos totais retidos pelo microfiltro em mg;  
 pf = massa do microfiltro em mg;  
 vf = volume da amostra filtrada em litros.

$$C_i' = \frac{pfa' - pf}{vf} \quad (3.6)$$

onde:

$C_i'$  = concentração dos sólidos fixos em suspensão em ppm;  
 $p_{fa}'$  = massa dos sólidos fixos retidos pelo microfiltro em mg;  
 $p_f$  = massa do microfiltro em mg;  
 $v_f$  = volume da amostra filtrada em litros.



Figura 3.6 – Amostrador draga - tipo Petersen

## 3.2 – PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA EUPS E DAS EQUAÇÕES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (GARDE & RANGA RAJU, 1985)

### 3.2.1 - Introdução

Burrough (1986) define o SIG (Sistema de Informação Geográfica) como um conjunto de ferramentas capaz de coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir informações espaciais sobre o meio ambiente, objetivando as mais diferentes aplicações.

O procedimento usual de aplicação do modelo da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode ser resumido segundo Pelletier, apud Cerri (1999), em:

a) registro dos planos de informação referenciados em relação a uma base cartográfica (UTM, Mercator, etc ), de forma a conferir uma mesma coordenada geográfica para os pontos independentemente do plano de informação em que estejam situados, e ainda um mesmo posicionamento no banco de dados digital (X, Y). A seguir,

b) são calculados os valores para cada plano de informação segundo a EUPS. Com base nestes dados,

c) são efetuadas as operações de integração com vistas a estabelecer os valores finais para o índice “A”, que representa a estimativa de perda total de solo por unidade de área.

### 3.2.2 – Banco de Dados

Os materiais utilizados para composição do banco de dados foram:

- Cartas Topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), escala 1 : 50.000 (Folhas: Campinas, Valinhos, Indaiatuba, Jundiaí, Bragança Paulista e Atibaia);

- Carta de Solos do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – IAC - ( Instituto Agrônômico de Campinas) - EMBRAPA, escala 1 : 500.000, ano 1999;

- Mapa Rodoviário da Regional Campinas/SP – DR 1 (Departamento de Estradas de Rodagem - DER), escala 1 : 250.000, anos 1999/2000 (Formato digital – vetorial);

- Imagem Satélite LANDSAT 5, órbita/ponto 219/76 W, bandas TM3, TM4 e TM5 de 1993 em BSQ (Streamer) e bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM6 e TM7 de 1999 em CD ( Formato INPE);

- Precipitação mensal dos postos meteorológicos: IAC-Campinas e DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) de 1993 e 1999.

### 3.2.3 – Equipamentos e “Softwares”

Foram utilizados os seguintes equipamentos e “softwares”:

- Microcomputador;
- Sistema de Posicionamento Global – GPS;
- Traçador Gráfico ( Impressão Colorida de grande formato);
- “Softwares”: SIG – Idrisi e ILWIS (Integrated Land and Water Information System);
- VárioWin (Geoestatística);
- Surfer ( Modelo Numérico do Terreno – MNT);
- ACADMAP/Overlay (digitalização e impressão).

### 3.2.4 - Procedimento

#### 3.2.4.1 – Definição da Escala de Trabalho

Considerando as informações cartográficas disponíveis para a área do trecho em estudo e a necessidade da obtenção de informações com um certo grau de detalhamento, o trabalho foi elaborado na escala 1 : 50.000. Todas as bases cartográficas, incluindo aquelas em formato digital, foram ajustadas para esta escala. Barros (1996), sugere para produtos cartográficos na escala 1 : 50.000, uma faixa de resolução espacial entre os valores 7,5 a 40 metros, salientando que na prática os estudos que utilizam produtos orbitais de sensoriamento remoto (LANDSAT- resolução espacial  $\cong$  30 x 30 m), adota-se esse tamanho de pixel como referência aos demais planos de informação.

#### 3.2.4.2 – Digitalização

A digitalização foi realizada por meio da rasterização do material cartográfico e, este submetido ao processo de vetorização semi-automática no “software” ACADMAP/Overlay. Foi digitalizado aproximadamente 1 km além dos divisores de água da área do trecho em estudo, para que os limites propostos: 46° 30’ 09” a 47° 03’ 04” W e 22° 52’ 17” a 23° 12’ 21” S, não sofressem quaisquer problemas de borda.

#### 3.2.4.3 - Elaboração da Carta Planialtimétrica

Foi elaborada uma carta com a planialtimetria cartográfica, a qual foi extraída das cartas topográficas do IBGE e convertidas do formato analógico para digital vetorial. Este material foi atualizado na malha viária, limite urbano, divisas políticas, entre outros, com base no Mapa Rodoviário da Regional Campinas/SP – DR1. A partir desta carta em meio digital, utilizando o Idrisi (SIG), foram obtidos os parâmetros: A, S, L e P das equações de transporte de sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985), área dos municípios envolvidos e os fatores: R, LS e P da EUPS.

#### 3.2.4.4 – Elaboração da Carta de Tipos de Solo

Foi elaborada uma carta contendo os tipos de solo com base na carta de solos do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Com esta carta em meio digital, utilizando o Idrisi (SIG), obteve-se os tipos de solos presentes na área em estudo e o fator K da EUPS.

#### 3.2.4.5 – Elaboração das Cartas de Uso da Terra

Para elaboração das cartas de uso da terra foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, que compreendem o processamento digital de imagens do satélite LANDSAT, em módulos para interpretação automática supervisionada. Os módulos foram gravados a partir das imagens obtidas de 1993 e 1999, a seguir, foram tratados pelo ILWIS (SIG), visando uma maior discriminação entre os diversos tipos de cobertura vegetal e possibilitando a interpretação temática segundo legenda pré estabelecida. As técnicas de processamento digital de imagem consistiram de: ampliação linear de contraste, filtragem e operações aritméticas entre as bandas.

A partir dessas cartas em meio digital, utilizando o Idrisi (SIG), obteve-se as classes de uso da terra e o fator C da EUPS para 1993 e 1999.

## 4 – RESULTADOS

### 4.1 – RESULTADOS DOS PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS SEGUNDO GARDE & RANGA RAJU (1985)

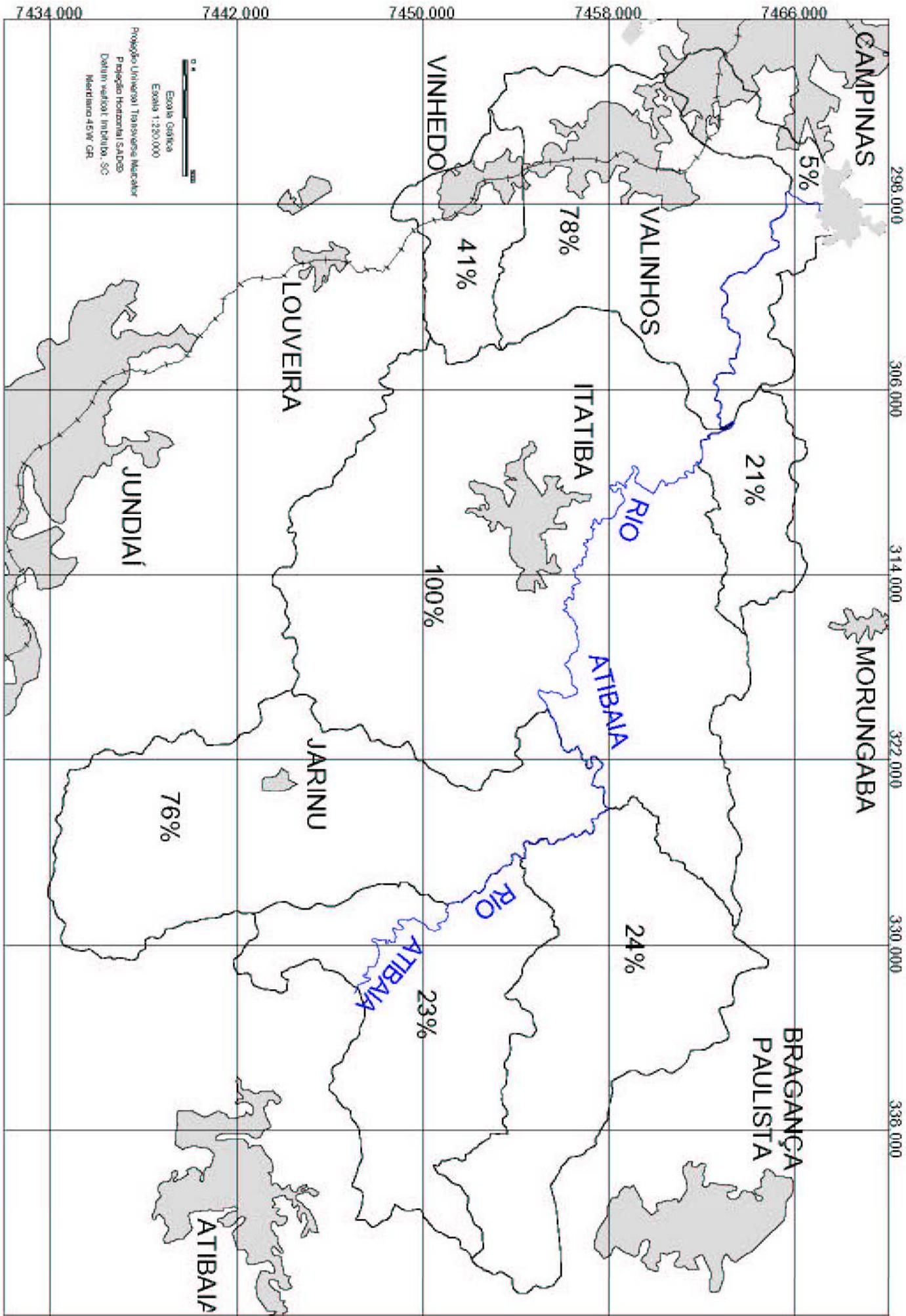
#### 4.1.1 – Área (A), Declividade Média (S), Comprimento do Talvegue (L) e Densidade de Drenagem (Dd)

Os parâmetros físicos foram obtidos da carta planialtimétrica (item 3.2.4.3), sendo:  $A = 934,7 \text{ km}^2$ ,  $S = 14,3 \%$ ,  $L = 73,5 \text{ km}$  e  $Dd = 0,079 \text{ km}^{-1}$ . Quando da aquisição das informações das características geográficas e principais culturas dos municípios, foi solicitado o quanto de cada município está presente na área em estudo, assim, os dados obtidos constam da Tabela 4.1 e a Figura 4.1 ilustra os mesmos.

Tabela 4.1 – Área dos municípios pertencentes à área em estudo

| <b>Município</b>  | <b>Área do Município (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Município na área (%)</b> |
|-------------------|---|------------------------------|
| Atibaia           | 110,80                                    | 23                           |
| Bragança Paulista | 123,58                                    | 24                           |
| Campinas          | 39,12                                     | 05                           |
| Itatiba           | 323,21                                    | 100                          |
| Jarinú            | 157,85                                    | 76                           |
| Morungaba         | 30,12                                     | 21                           |
| Valinhos          | 116,15                                    | 78                           |
| Vinhedo           | 33,91                                     | 41                           |

Figura 4.1 – Municípios pertencentes á área em estudo



#### 4.1.2 – Precipitação Média Anual (P)

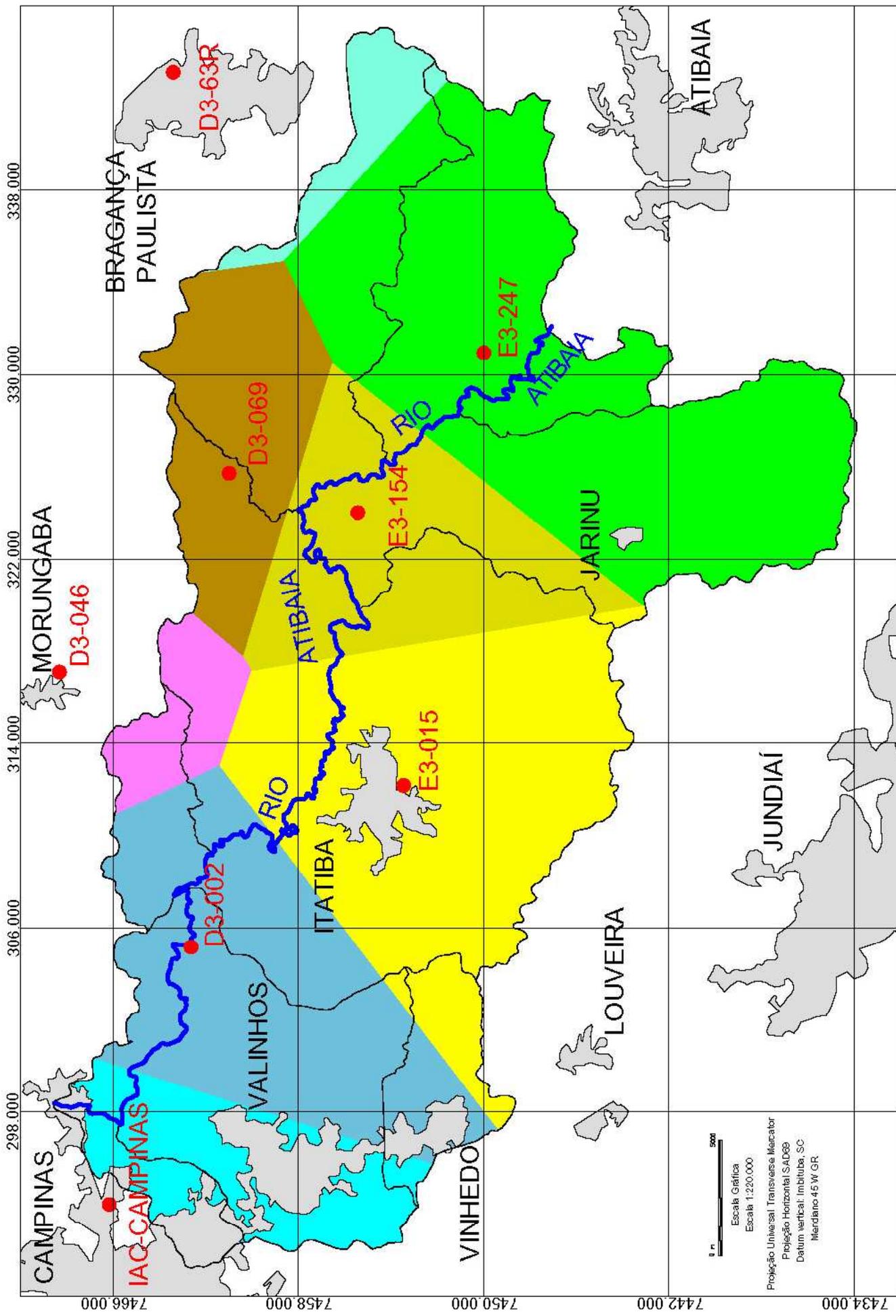
As precipitações médias anuais de 1993 e 1999, foram obtidas a partir da carta planialtimétrica (item 3.2.4.3), onde foram localizados os postos meteorológicos e utilizando o método de Thiessen (Villela & Mattos, 1975), no Idrisi (SIG), foram determinadas as áreas de influência dos postos na área em estudo (Tab. 4.2 e Fig. 4.2).

Foram descartados os dados de precipitações ocorridas em 1993 do posto meteorológico prefixo: E3-17R/Vinhedo, devido o mesmo não possuir dados em 1999, embora faça parte da área em estudo.

Tabela 4.2 – Valores obtidos para as precipitações médias anuais

| <b>Posto Meteorológico</b> | <b>Precipitação</b> | <b>Precipitação</b> | <b>Área de</b>    |
|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| <b>Prefixo</b>             | <b>média anual</b>  | <b>média anual</b>  | <b>Influência</b> |
| <b>Município</b>           | <b>1993 (mm)</b>    | <b>1999 (mm)</b>    | <b>(%)</b>        |
| D3 – 069 / Lat.22°57'      |                     |                     |                   |
| Bragança Pta. Long.46°42'  | 1488,3              | 1346,4              | 8,75              |
| D3 – 002 / Lat.22°56'      |                     |                     |                   |
| Campinas Long.46°54'       | 1595,4              | 1257,5              | 16,26             |
| E3 – 015 / Lat.23°01'      |                     |                     |                   |
| Itatiba Long.46°50'        | 1559,8              | 1171,7              | 21,85             |
| E3 – 154 / Lat.23°00'      |                     |                     |                   |
| Jarinú Long.46°43'         | 1443,3              | 1321,2              | 11,84             |
| E3 – 247 / Lat.23°03'      |                     |                     |                   |
| Atibaia Long.46°39'        | 1683,3              | 1199,7              | 27,13             |
| D3 – 046 / Lat.22°53'      |                     |                     |                   |
| Morungaba Long.46°47'      | 1646,4              | 1472,6              | 3,08              |
| D3 – 63R / Lat.22°56'      |                     |                     |                   |
| Bragança Pta. Long.46°32'  | 1426,4              | 1619,2              | 2,54              |
| IAC Lat.22°54'             |                     |                     |                   |
| Campinas Long.47°05'       | 1448,0              | 1301,0              | 8,54              |
| <b>Média</b>               | <b>1568,6 mm</b>    | <b>1257,8 mm</b>    | <b>100%</b>       |

Figura 4.2 – Área de influência dos postos meteorológicos



#### 4.1.3 – Escoamento Médio Anual (Q)

Os escoamentos médios anuais de 1993 e 1999 foram obtidos das medições realizadas, conforme ítem 3.1 (Anexo A), onde foram descontados do período de cheia o período de seca, sendo os valores médios encontrados 413,3 Mm<sup>3</sup> e 775,6 Mm<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 4.1.4 – Descargas Líquida, Sólida de Fundo e em Suspensão

As descargas líquida, sólida de fundo e em suspensão de 1993 e 1999 foram obtidas das medições realizadas, conforme ítem 3.1 (Anexo A). A Tabela 4.3, a seguir, ilustra as descargas líquida, sólida de fundo e em suspensão médias.

Tabela 4.3 – Descargas líquida, sólida de fundo e em suspensão médias – 1993 e 1999

| Período | Descarga líquida          | Descarga sólida de fundo | Descarga sólida em suspensão |
|---------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
|         | Média (m <sup>3</sup> /s) | Média (Mg/dia)           | Média (Mg/dia)               |
| 1993    | 19,53                     | 0,060                    | 147,14                       |
| 1999    | 32,96                     | 1,009                    | 521,04                       |

#### 4.1.5 – Fator Erodibilidade (Fc)

O fator erodibilidade (Fc) foi obtido das cartas de uso da terra (ítem 3.2.4.5), onde os valores obtidos dos tipos de cobertura vegetal foram reclassificados de acordo com o Quadro 2.8, conforme consta na Tabela 4.4; assim, para 1993, temos Fc= 0,64 e para 1999, temos Fc= 0,62.

Tabela 4.4 – Reclassificação dos tipos de cobertura vegetal

| Reclassificação – Tipo de Cobertura Vegetal  | Fc   | Área (km <sup>2</sup> )-1993 | Área (km <sup>2</sup> )-1999 |
|--|------|------------------------------|------------------------------|
| Floresta conservada – Mata fechada           | 0,20 | 111,9357                     | 150,7391                     |
| Floresta sem conservação – Mata aberta       | 0,40 | 147,0554                     | 153,0011                     |
| Área cultivada – Cultura anual               | 0,60 | 78,4141                      | 23,9148                      |
| Pasto, relva e arbustos – Pasto sujo e limpo | 0,80 | 491,7747                     | 473,9421                     |
| Área agreste/devastada – Solo exposto        | 1,00 | 34,7004                      | 32,4573                      |

## 4.2 – RESULTADOS DOS FATORES DA EUPS

### 4.2.1 – Fator Chuva (R)

A partir da localização dos postos meteorológicos na área em estudo, aplicando o método de Thiessen (Villela & Mattos, 1975) e Krigagem (interpolação), no Idrisi (SIG), foi gerado uma carta para determinação do fator (R) para 1993 e 1999, com as médias mensais do índice de erosão **E.I** (equação **(2.11)**). A Tabela 4.5 contém os valores do fator (R) para os postos meteorológicos e as Figuras 4.3 e 4.4 ilustram o fator (R) para a área em estudo.

Tabela 4.5 - Valores do fator chuva (R) para os postos meteorológicos

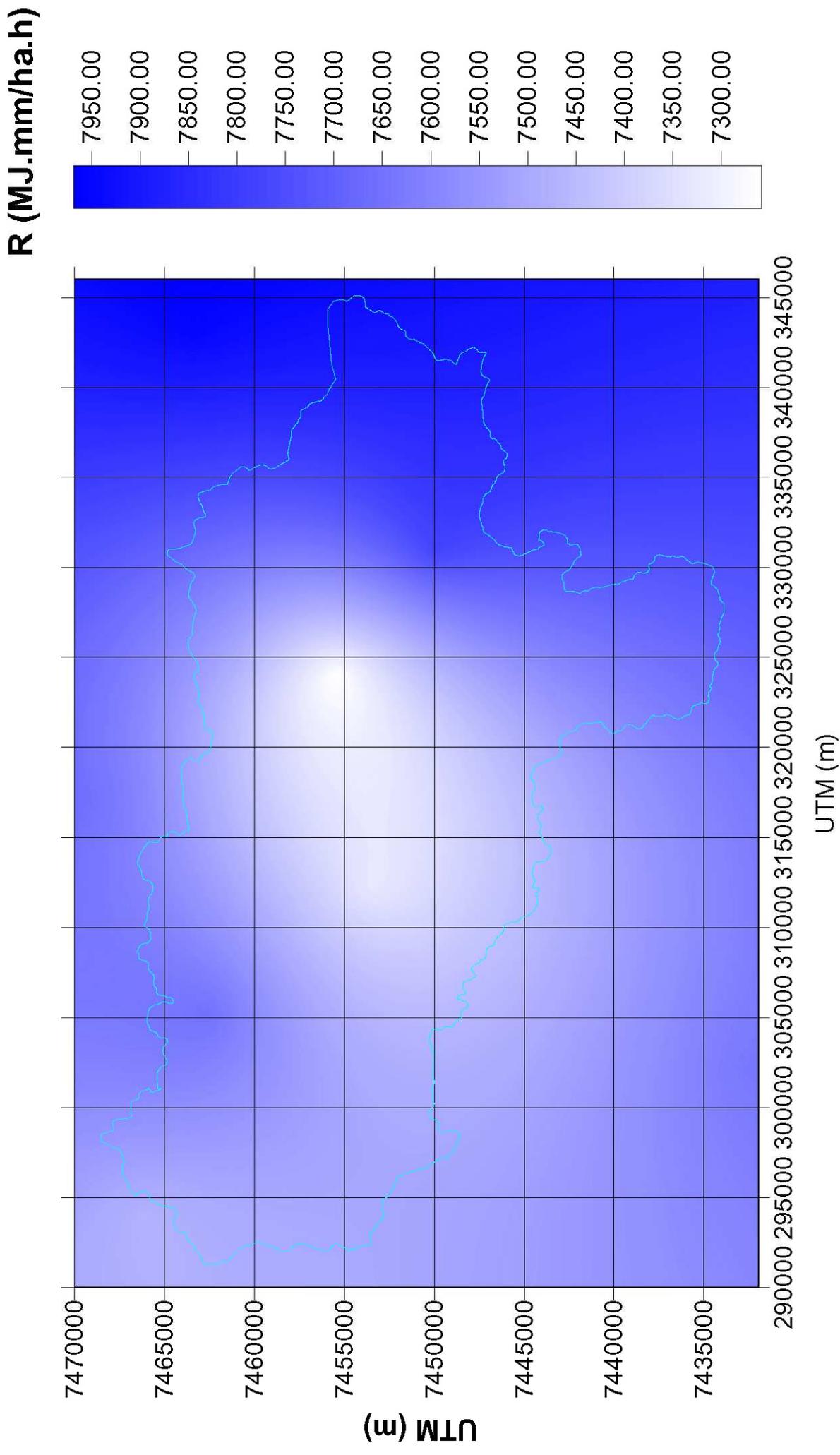
| <b>Posto Meteorológico</b> | <b>Fator (R) MJ.mm/ha.h</b> |             |
|----------------------------|-----------------------------|-------------|
|                            | <b>1993</b>                 | <b>1999</b> |
| <b>Prefixo</b>             |                             |             |
| D3-069 Bragança Pta.       | 7511                        | 9179        |
| D3-002 Campinas            | 7655                        | 7735        |
| E3-015 Itatiba             | 7327                        | 8159        |
| E3-154 Jarinú              | 7258                        | 9123        |
| E3-247 Atibaia             | 7781                        | 8208        |
| E3-046 Morungaba           | 7645                        | 8752        |
| D3-63R Bragança Pta.       | 7956                        | 9803        |
| IAC-Campinas               | 7473                        | 8525        |

### 4.2.2 – Fator Erodibilidade do Solo (K)

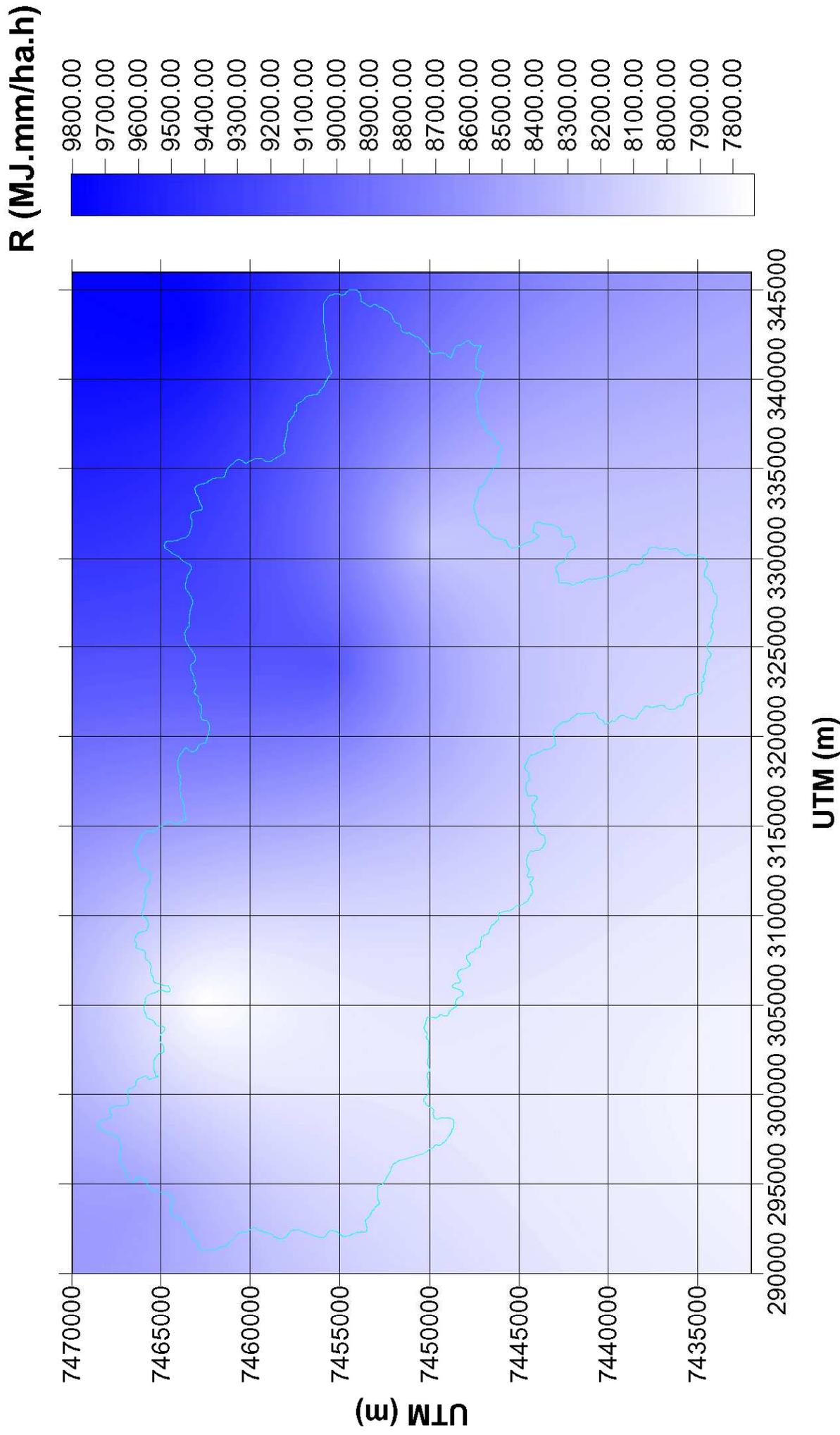
Foi obtido a partir da elaboração da carta de tipos de solo (item 3.2.4.4), a Tabela 4.6 contém os valores encontrados e a Figura 4.5 ilustra o fator erodibilidade do solo para a área em estudo.

Tabela 4.6 – Tipos de solo, fator K e a tolerância à perda de solo

| <b>Solo</b> | <b>Área (%)</b> | <b>Fator K</b> | <b>Tolerância (Mg/ha)</b> |
|-------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| LVA         | 46,8            | 0,0223         | 9,8                       |
| CX          | 9,9             | 0,0298         | 7,7                       |
| PVA         | 35,0            | 0,0344         | 6,6                       |
| PVA-8       | 3,9             | 0,0368         | 5,7                       |

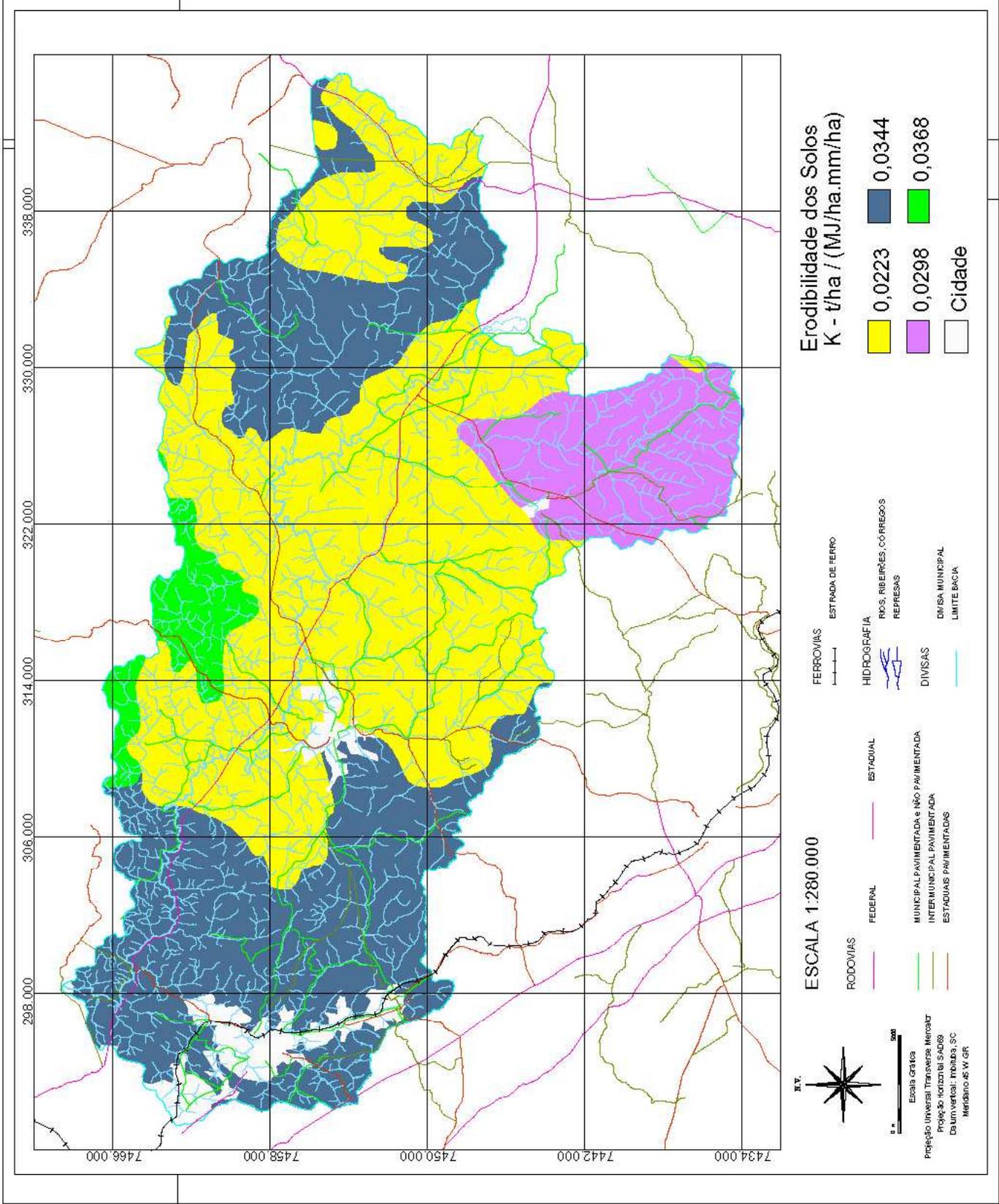


**Figura 4.3 - Fator Chuva (R) da área em estudo 1993**



**Figura 4.4 - Fator Chuva (R) da área em estudo 1999**

Figura 4.5 – Erodibilidade do solo na área em estudo



**Erodibilidade dos Solos**  
 $K - t/ha / (MJ/ha.mm/ha)$

- 0,0223
- 0,0298
- 0,0344
- 0,0368
- Cidade

ESCALA 1:280.000

- FERROVIAS ESTADADA DE FERRO
- HIDROGRAFIA RIOS, RIBEIRES, Córregos  
 REPRESAS
- DIVISAS DIVISA MUNICIPAL  
 LIMITE BACIA

- RODOVIAS FEDERAL ESTADUAL
- MUNICIPAL PAVIMENTADA e NÃO PAVIMENTADA  
 INTERMUNICIPAL PAVIMENTADA  
 ESTADUAIS PAVIMENTADAS

N  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 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 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100  
 Escala Gráfica  
 Projeção Universal Transversa Mercator  
 Projeção horizontal SAD69  
 Datum vertical: Friaça, SC  
 Meridiano de V.G.R.

#### 4.2.3 – Fator Topográfico (LS)

O fator declividade (S) foi obtido a partir das isolinhas altimétricas, digitalizadas das cartas topográficas (item 3.2.4.3), com espaçamento vertical de 20 metros. Foi gerado um Modelo Numérico do Terreno (MNT) no “software” Surfer por meio do método Krigagem (interpolação), obtendo as classes de declive no SIG Idrisi. A Figura 4.6 ilustra as classes de declive obtidas para a área em estudo.

Para obtenção do fator comprimento de vertente (L) foi utilizado a metodologia desenvolvida por Valeriano (1999), onde foram encontrados os valores de L a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) gerados no SIG (Figura 4.7).

A Tabela 4.7 contém os valores encontrados para as classes de declive e para os comprimentos de rampa. Finalmente, o Fator Topográfico (LS), foi obtido a partir dos valores dos fatores L e S (equação (2.12)).

Tabela 4.7 – Classes de declive e comprimentos de rampa para área em estudo

| <b>Classes de Declive (%)</b> | <b>Área (%)</b> | <b>Compr. de Rampa (m)</b> | <b>Área (%)</b> |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| 0 – 5                         | 23,7            | 0 – 30                     | 42,8            |
| 5 – 10                        | 18,3            | 30 – 50                    | 9,4             |
| 10 – 20                       | 31,6            | 50 – 100                   | 15,0            |
| 20 – 45                       | 24,3            | > 100                      | 32,8            |
| > 45                          | 2,1             |                            |                 |

#### 4.2.4 – Fator Uso e Manejo do Solo (C)

A partir da elaboração das cartas de uso da terra ( item 3.2.4.5), obteve-se as classes de uso da terra e os valores do fator uso e manejo do solo (C), para os anos de 1993 e 1999. A Tabela 4.8 contém as classes de uso da terra e os valores do fator C e as Figuras 4.8 e 4.9 ilustram o fator uso e manejo do solo (C) para a área em estudo.

Tabela 4.8 – Classes de uso da terra para 1993 e 1999 e o Fator C

| <b>Classes de Uso</b> | <b>Fator C</b> | <b>Área (%) - 1993</b> | <b>Área (%) – 1999</b> |
|-----------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Cultura anual         | 0,233          | 8,4                    | 2,6                    |
| Estradas              | 0,000001       | 1,1                    | 1,2                    |
| Mata aberta           | 0,0006         | 15,7                   | 16,4                   |
| Mata fechada          | 0,0004         | 12,0                   | 16,1                   |
| Pasto Limpo           | 0,005          | 26,3                   | 15,1                   |
| Pasto sujo            | 0,01           | 26,3                   | 35,6                   |
| Solo exposto          | 0,7            | 3,7                    | 3,5                    |
| Urbano                | 0,000001       | 6,0                    | 8,9                    |

#### 4.2.5 – Fator Prática Conservacionista (P)

De acordo com a equação proposta por Lombardi Neto (Relatório Anual do IAC, 1995): o fator P deve considerar a declividade como fator limitante para as práticas conservacionistas. Assim:

$$P = 0,69947 - 0,08991 \cdot S + 0,011284 \cdot S^2 - 0,000335 \cdot S^3 \quad (4.1)$$

onde:

P = fator prática conservacionista

S = declividade (%)

Deste modo, dado a declividade (%) e o tipo de cobertura vegetal, determinou-se o fator prática conservacionista (P).

Figura 4.6 – Classes de declive da área em estudo

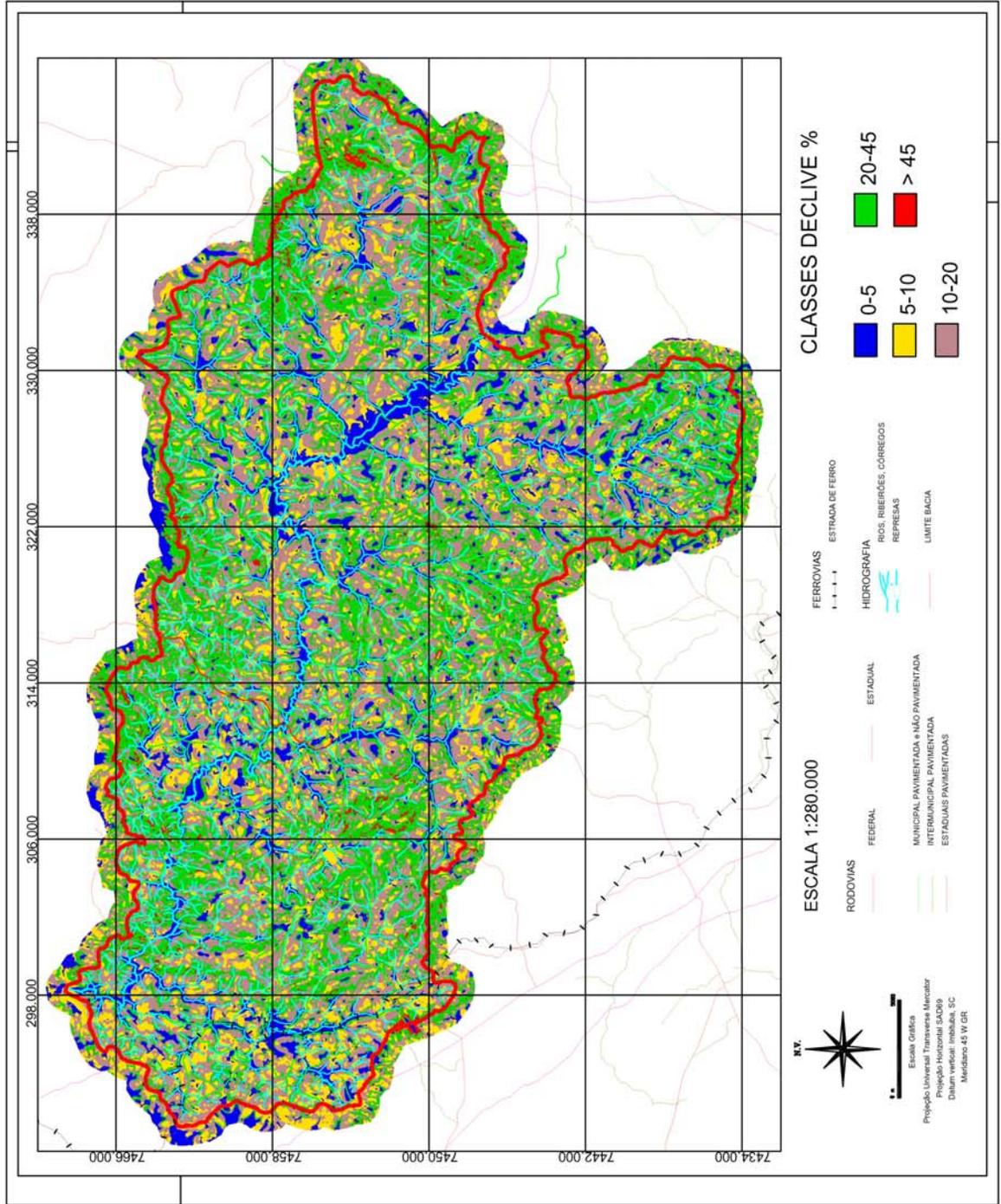


Figura 4.7 – Comprimento de rampa da área em estudo

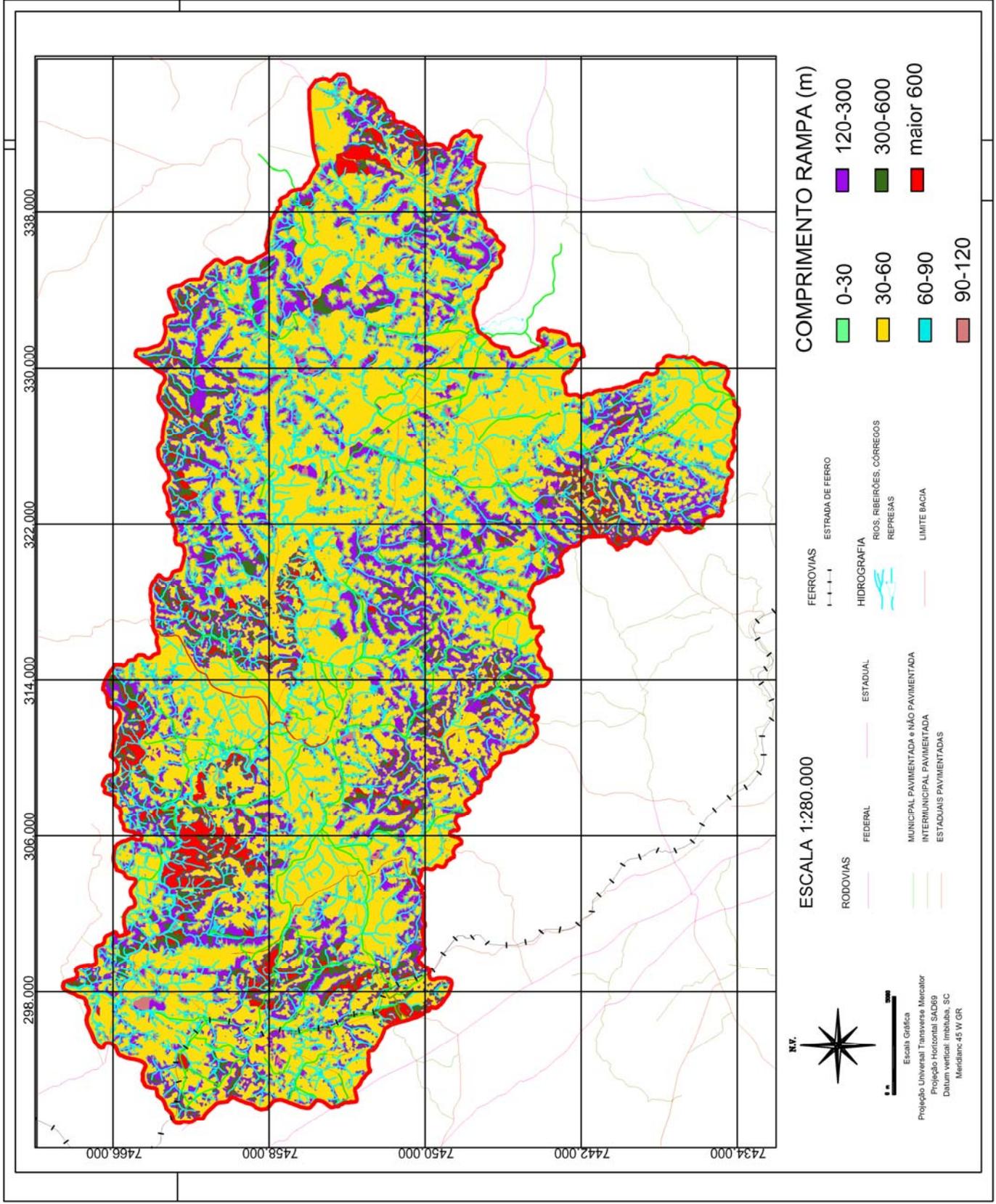


Figura 4.8 – Fator Uso e Manejo do Solo (C) - 1993

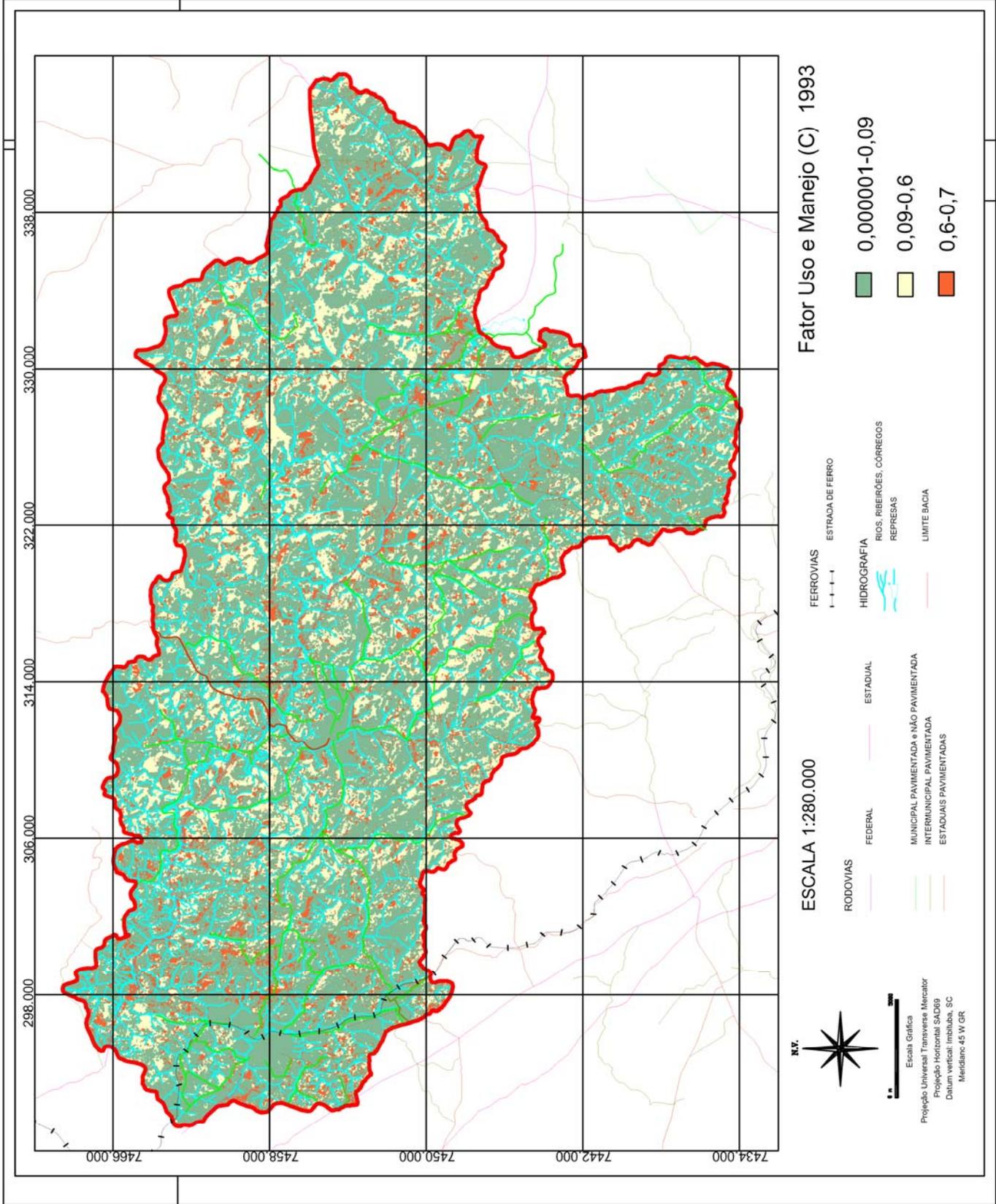
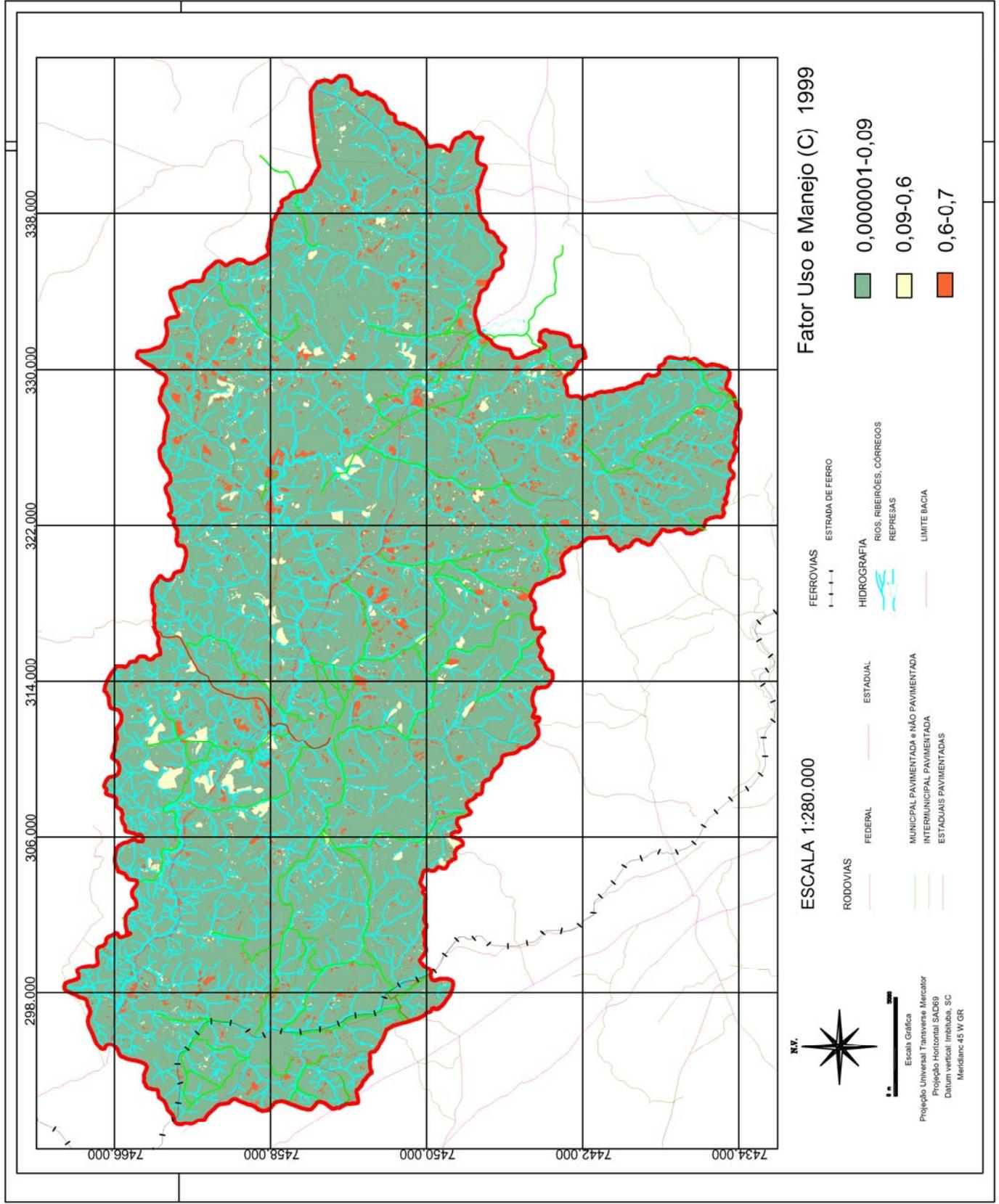


Figura 4.9 – Fator Uso e Manejo do Solo (C) - 1999



#### 4.2.6 – Integração dos Fatores da EUPS

Uma vez obtidos todos os fatores de EUPS ( R, K, LS, C e P) para 1993 e 1999, cada fator foi transformado num plano de informação georeferenciado e transferido para um sistema de informação geográfica (ILWIS). Através de operações de cruzamento, reclassificação e multiplicação, obteve-se as perdas de solo na área em estudo, para os anos de 1993 e 1999. A representação esquemática da perda de solo proposta por Donzeli et al. (1992) modificada consta da Figura 4.10, a Tabela 4.9 e as Figuras 4.11 e 4.12 ilustram as perdas de solo na área em estudo.

Tabela 4.9 – Perdas de solo em 1993 e 1999

| <b>Perda (Mg/ha)</b> | <b>Área (%) – 1993</b> | <b>Área (%) – 1999</b> |
|----------------------|------------------------|------------------------|
| < 5                  | 76,0                   | 74,1                   |
| 5 – 10               | 8,8                    | 9,4                    |
| 10 – 20              | 7,6                    | 6,4                    |
| 20 – 50              | 5,2                    | 4,7                    |
| > 50                 | 3,5                    | 5,3                    |

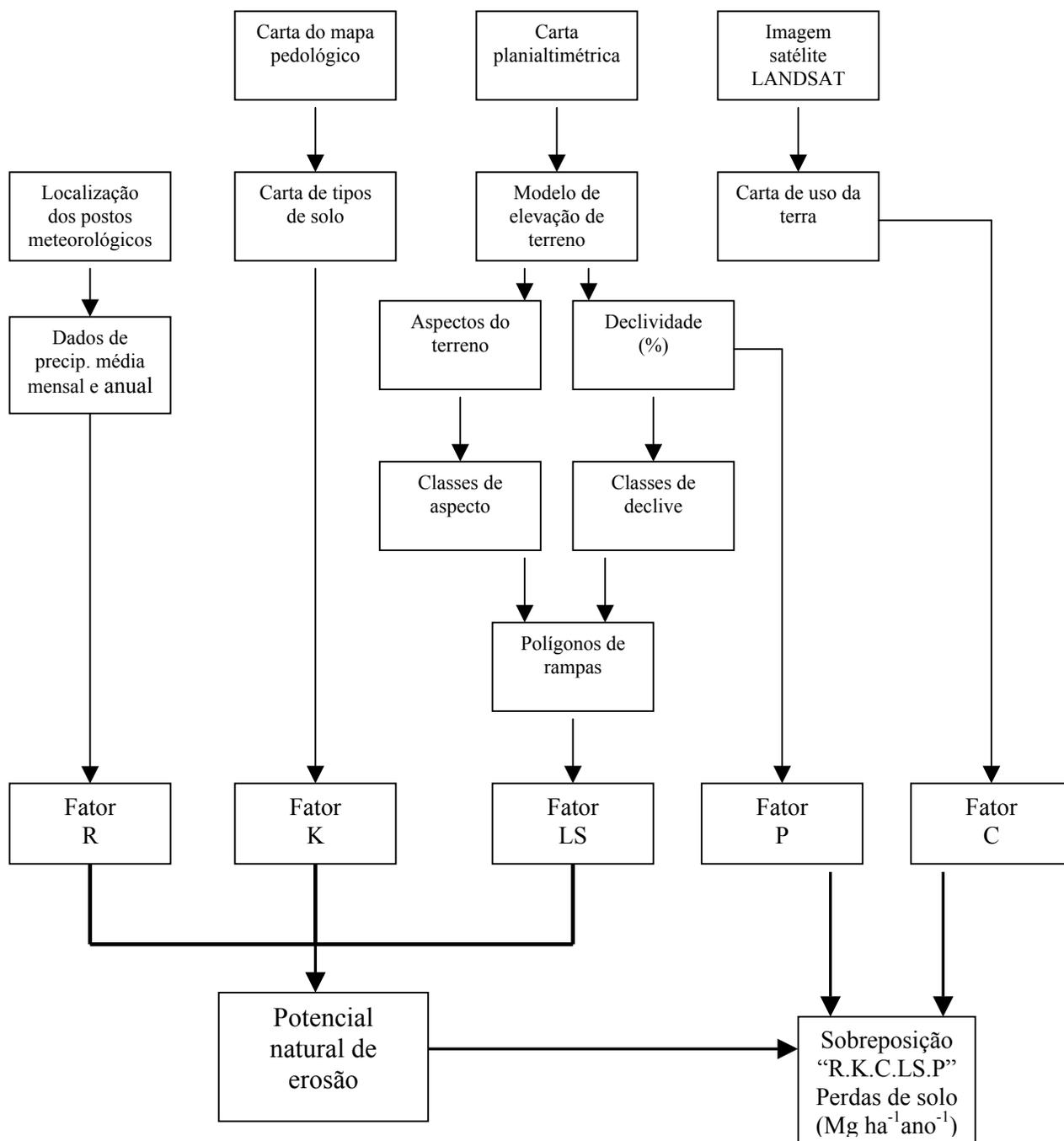


Figura 4.10 – Representação Esquemática do Modelo de Erosão baseados nos parâmetros da

EUPS, Modificado de Donzeli et al. (1992)

Figura 4.11 – Perda de Solo - 1993

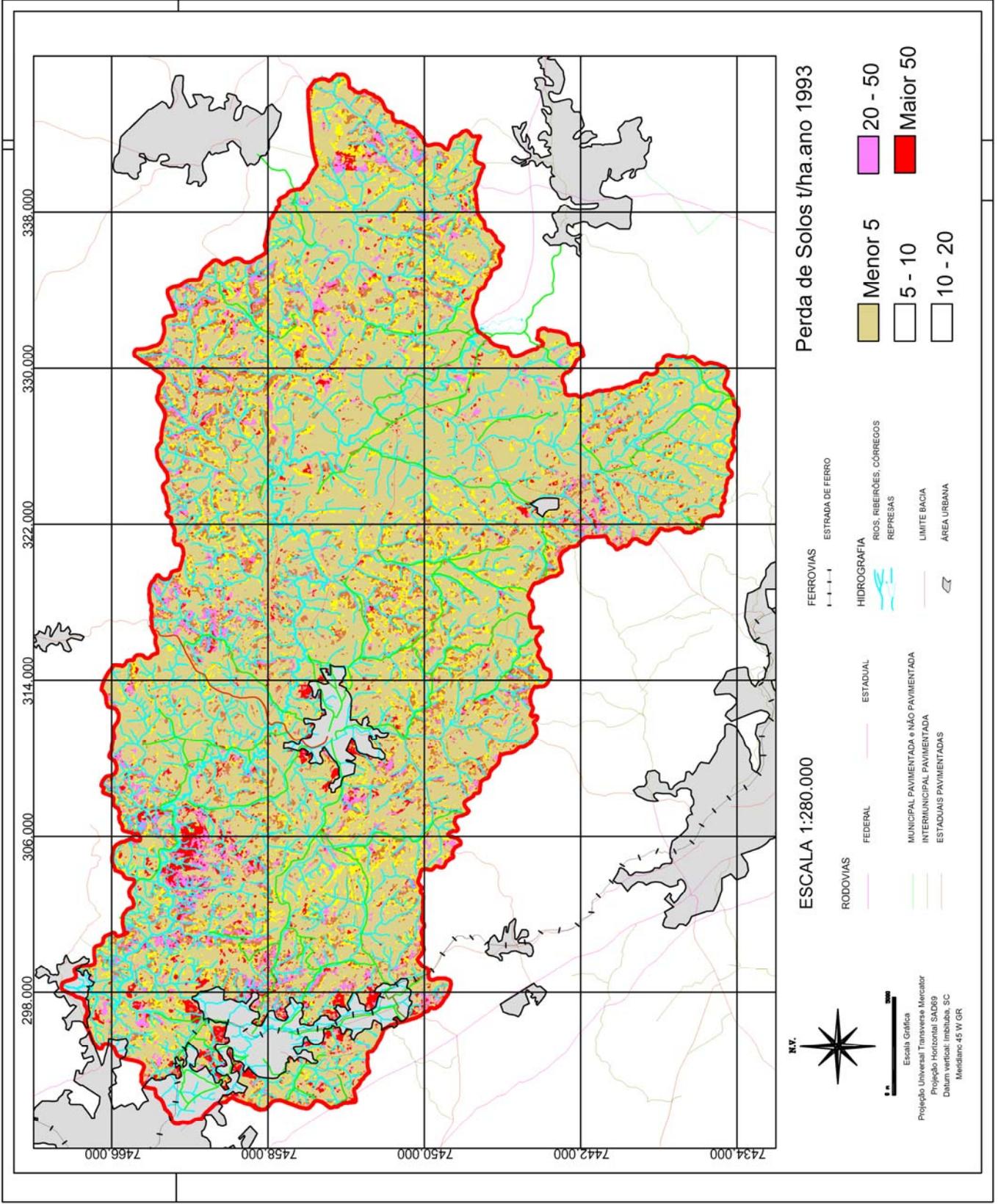
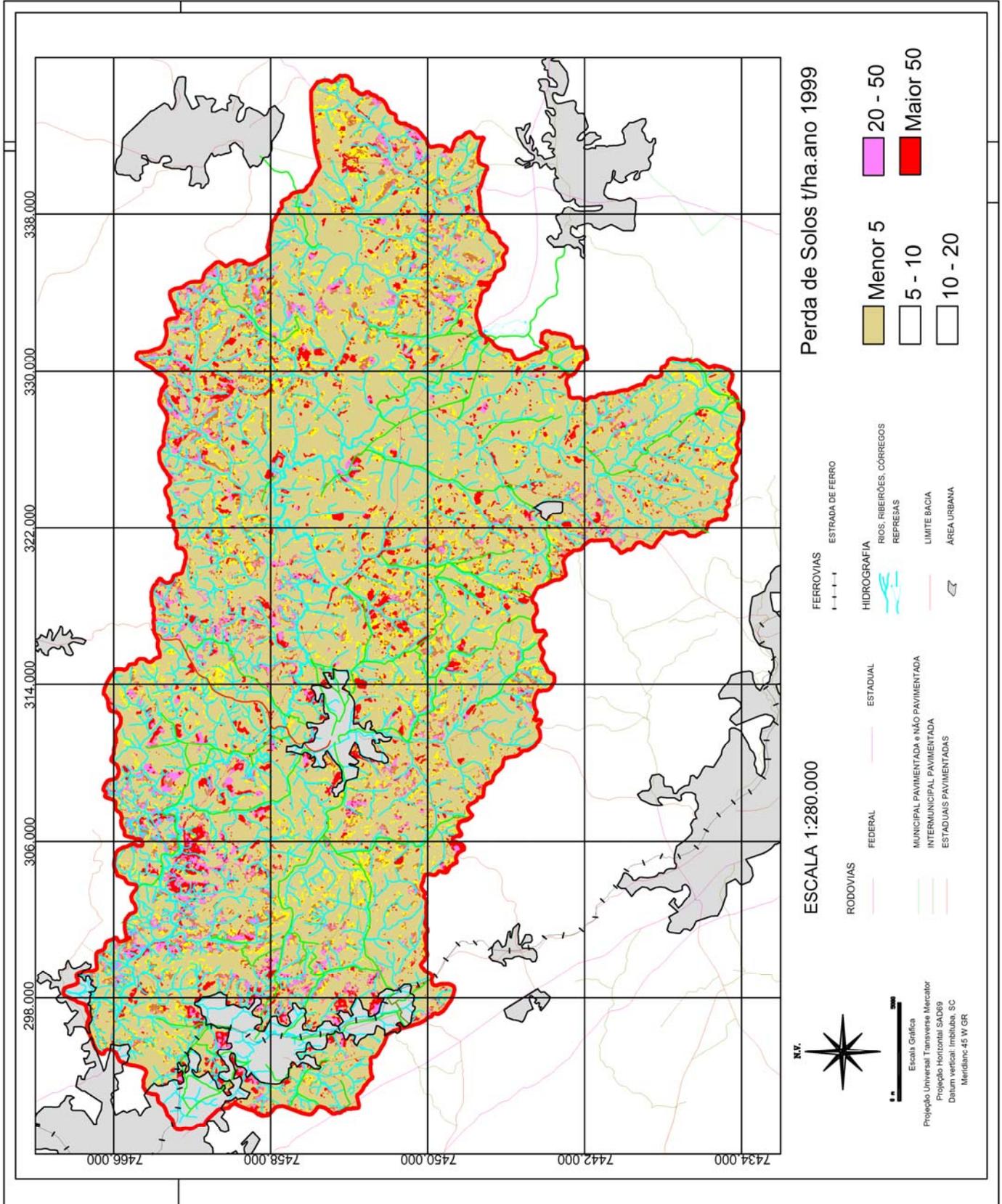


Figura 4.12 – Perda de Solo - 1999



### 4.3 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS SEGUNDO GARDE & RANGA RAJU (1985), EUPS E A SEÇÃO DE MEDIDAS

Os resultados da aplicação das equações (2.3), (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.10) e a seção de medidas constam da Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Resultados da equações (2.3), (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.10) e a seção de medidas

| <b>Equação</b>                          | <b>Resultados</b>                                |
|---|--|
| Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.3) | VSA = 0,536 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,447 Mm <sup>3</sup> (1999)               |
| Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.4) | VSA = 0,743 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,506 Mm <sup>3</sup> (1999)               |
| Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.5) | VSA = 0,555 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,412 Mm <sup>3</sup> (1999)               |
| Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.6) | VSA = 0,174 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,205 Mm <sup>3</sup> (1999)               |
| Khosla (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.7) | VSA = 0,225 Mm <sup>3</sup>                      |
|   | VSA = 0,078 Mm <sup>3</sup> (a = 1,50 e b = 0,6) |
| Kirkby (Garde & Ranga Raju, 1985) (2.8) | VSA = 0,363 Mm <sup>3</sup> (a = 1,15 e b = 0,8) |
|   | VSA = 0,036 Mm <sup>3</sup> (a = 1,90 e b = 0,6) |
|   |  |
| EUPS (2.10)                             | VSA = 0,256 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,275 Mm <sup>3</sup> (1999)               |
| Seção de medidas                        | VSA = 0,020 Mm <sup>3</sup> (1993)               |
|   | VSA = 0,072 Mm <sup>3</sup> (1999)               |

## 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A área de drenagem do trecho em estudo com 934,7 km<sup>2</sup>, representa 34% da Sub-bacia do Atibaia. Entre os municípios, o que possui área mais representativa é Itatiba (100%), seguido por Valinhos (78%) e Jarinú (76%), e o de menor representação é o Município de Campinas (4%).

Os postos meteorológicos que possuem maior representação na área em estudo são: E3-247 Atibaia (27,13%) e E3-015 Itatiba (21,85%). O posto de maior destaque para o fator chuva (R) é: D3- 63R Bragança Paulista, com 7956 MJ.mm/ha.h, para o ano de 1993 e para o ano de 1999, 9803 MJ.mm/ha.h, possuindo somente 2,54% de influência na área em estudo.

Outro fato que merece consideração é que, embora as precipitações de 1993 sejam maiores que 1999, a erosividade da chuva em 1999 foi cerca de 10% maior em relação à 1993 (Anexo B).

Podemos verificar que, através das medições, a descarga líquida média aumentou cerca de 70% de 1993 para 1999, passando de 19,5 m<sup>3</sup>/s para 33 m<sup>3</sup>/s; e a descarga sólida total transportada aumentou em 255% para o mesmo período, passando de 147 Mg/dia para 522 Mg/dia.

Segundo Nascimento, Martins & Coiado (2000), as concentrações dos sólidos fixos (matéria inorgânica) e voláteis (matéria orgânica), expressas em % dos sólidos totais em suspensão, obtidos na seção de medição no rio Atibaia representam 74% e 26%, respectivamente. Deste modo, para o ano de 1993, temos: 108,9 Mg/dia de sólidos fixos e 38,3 Mg/dia de sólidos voláteis; e para o ano de 1999, temos: 386,3 Mg/dia de sólidos fixos e 135,7 Mg/dia de sólidos voláteis.

Os solos Podzólicos vermelho-amarelo representam cerca de 35% na área em estudo e são facilmente erodíveis, principalmente, aqueles cuja localização esteja acima de

10% de declividade, cuja tolerância à perda de solo é da ordem de 6,6 Mg/ha.

Quanto ao uso da terra podemos destacar que área urbana cresceu de 6% em 1993 para 9% em 1999, ou seja, houve um aumento de 50% neste período.

As equações (2.3), (2.4), (2.5) e (2.6) obtidas por análise de regressão de dados de 32 bacias hidrográficas na Índia, segundo Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985), resultaram em valores muito acima dos obtidos nas medições de 1993 e 1999.

A equação (2.7) leva em consideração, somente, a área de drenagem, assim, em comparação com os valores mensurados obtidos não refletem às medições.

A equação (2.8) é a que mais se aproxima do volume de sedimentos mensurados, porém as constantes **a** e **b** podem ser arbitradas com grande variação.

A aplicação da EUPS (2.10), resultou em perdas de solo médias de 7,3 Mg/ha .1993 e 7,8 Mg/ha .1999; sendo que as perdas maiores de 50 Mg/ha aumentaram de 3,5% em 1993 para 5,3% em 1999, ou seja, cresceram cerca de 50%.

Podemos dizer que o volume total de sedimentos, os quais foram erodidos na área de drenagem em estudo, estimado pela EUPS, somente 8% passou na seção de medidas no rio Atibaia em 1993 e 26% em 1999.

Neste estudo o fator de interação realizado entre o volume de sedimentos mensurado e o estudo da ocupação do solo a montante, mostraram-se satisfatórios para 1993 e 1999, pois segundo Lal, apud Ranieri (1996), calcula-se que de 5 a 30% das partículas desprendidas no processo erosivo chegam aos cursos d'água, provocando assoreamento, turbidez e contaminação dos mesmos com agroquímicos.

Embora toda equação de origem empírica envolva erros de estimativas e experimentais, mesmo considerando as simplificações que foram feitas para obtenção dos fatores da equação, observa-se que, quando não se tem condições de obtenção de valores reais das perdas de solo numa determinada área, sua utilização deve ser reconhecida como uma maneira de se estimar as perdas, mesmo que seja aplicada em situações não apropriadas, dado que a EUPS foi proposta para áreas agrícolas.

Nos dias 28/01/1999 e 11/03/1999 as medições realizadas da descarga sólida em suspensão foram: 2156,83 Mg/dia e 3857,23 Mg/dia, respectivamente, estes valores se encontram bem acima da média para o ano de 1999, cujo valor foi de 521 Mg/dia. Segundo Marsh (1991), a exposição prolongada do solo durante a fase de urbanização eleva as taxas de erosão para cerca de 500 Mg/ha/ano, e, em relação aos dias mensurados, pode ter ocorrido uma exposição prolongada do solo, dado que a urbanização na área em estudo cresce a uma taxa de 8% ao ano.

As equações aplicadas de transporte de sedimentos não estão traduzindo, como esperado, as medições; porém comparando as medições realizadas em 1993 e 1999 e a aplicação da EUPS para o mesmo período, as mesmas estão refletindo uma atividade antrópica acentuada, principalmente, no que diz respeito ao uso e manejo do solo na área do trecho em estudo do rio Atibaia.

## 6 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitiram apresentar as seguintes conclusões:

- A área de drenagem do trecho em estudo com 934,7 km<sup>2</sup>, representa 34% da Sub-bacia do Atibaia, sendo que a mesma contém 73,5 km do rio Atibaia.

- Os municípios pertencentes à área em estudo são: Campinas (5%), Valinhos (78%), Vinhedo (41%), Itatiba (100%), Morungaba (21%), Jarinú (76%), Bragança Paulista (24%) e Atibaia (23%).

- Os postos meteorológicos que possuem representação na área em estudo são: D3-069/Bragança Paulista (8,75%), D3-002/Campinas (16,26%), E3-015/Itatiba (21,85%), E3-154/Jarinú (11,84%), E3-247/Atibaia (27,13%), D3-046/Morungaba (3,08%), D3-63R/Bragança Paulista (2,54%) e IAC-Campinas (8,54%).

- As precipitações médias anuais dos postos meteorológicos em 1993 foram maiores do que em 1999, com exceção do posto D3-63R/Bragança Paulista.

- A descarga líquida média aumentou cerca de 70% de 1993 para 1999, passando de 19,5 m<sup>3</sup>/s para 33 m<sup>3</sup>/s e a descarga sólida total transportada aumentou em 255% para o mesmo período, passando de 147 Mg/dia para 522 Mg/dia.

- As concentrações dos sólidos fixos e voláteis que passaram na seção de medidas, respectivamente, foram: 108,9 Mg/dia e 38,3 Mg/dia, em 1993, e 386,3 Mg/dia e 135,7 Mg/dia, em 1999.

- A erosividade da chuva em 1999 foi cerca de 10% maior em relação à 1993.

- O solo Podzólico vermelho amarelo apresenta-se com 35% na área em estudo, sendo sua tolerância à perda de solo da ordem de 6,6 Mg/ha.

- Os declives maiores que 10% representam cerca de 58% da área de

drenagem em estudo.

- As classes de uso da terra: “urbano” aumentou em 50%, passando de 6% em 1993 para 9% em 1999, e “cultura anual” diminuiu em 69%, passando de 8,4% em 1993 para 2,6% em 1999.

- A equação proposta que mais se aproxima do volume de sedimentos mensurado é a de Kirkby (Garde & Ranga Raju, 1985), embora as constantes a e b, possam ser arbitradas com grande variação.

- A equação de Khosla (Garde & Ranga Raju, 1985), leva somente a área da bacia em consideração, assim seu resultado não reflete às medições realizadas.

- As equações de Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985) resultaram em valores muito acima dos obtidos, quando comparados com as médias das medições de 1993 e 1999.

- A aplicação da EUPS resultou em perdas de solo médias de 7,3 Mg/ha.1993 e 7,8 Mg/ha.1999; as perdas de solo maiores que 50 Mg/ha aumentaram em cerca de 50%, passando de 3,5% em 1993 para 5,3% em 1999.

- Embora a EUPS seja uma equação de origem empírica e proposta para áreas agrícolas, sua utilização deve ser reconhecida como uma maneira de se estimar as perdas de solo, mesmo que seja aplicada em situações não apropriadas.

- Do volume total de sedimentos, os quais foram erodidos na área de drenagem em estudo, somente 8% passou pela seção de medidas em 1993 e 26% em 1999.

- O fator de interação pioneiro realizado entre o volume de sedimentos mensurado e o estudo da ocupação do solo a montante de uma seção no rio Atibaia, mostraram-se satisfatórios. Os valores encontrados estão coerentes com o citado por Lal, apud Ranieri (1996).

## 7 - RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que, mais trabalhos de interação entre o volume de sedimentos mensurados num curso d'água e o volume de sedimentos erodidos na área de drenagem, sejam realizados.

Como as equações de transporte de sedimentos propostas não chegaram a representar, satisfatoriamente, o volume de sedimentos mensurados no rio Atibaia, sugere-se a pesquisa de outras equações ou mesmo o desenvolvimento de equações que possam vir a refletir as medições obtidas.

Dado que os resultados obtidos das medições realizadas em 1993 e 1999 na seção do rio Atibaia e a aplicação da EUPS para o mesmo período, apontaram para atividades antrópicas acentuadas na área em estudo, recomenda-se um planejamento mais rigoroso por parte das autoridades municipais, no sentido de adoção de práticas conservacionistas quanto ao uso e manejo do solo, principalmente, no que se refere à urbanização em solos podzólicos com declives acima de 10%.

Sugere-se para o próximo trabalho, dado que a EUPS foi aplicada para obtenção do volume anual de sedimento produzido na área de drenagem do trecho em estudo no rio Atibaia, o diagnóstico dos locais onde há ocorrência de perdas de solo excedentes, averiguados pela tolerância à perda de solo, devidos os mesmos serem os possíveis responsáveis pelos riscos de degradação dos recursos hídricos nesse trecho.

**ANEXOS**

## **Anexo A: Medidas Fluviossedimétricas na Seção de Medidas**

Parâmetros geométricos da seção transversal em estudo: descargas líquida e sólidas transportadas por arraste e em suspensão (Posto Sosas/Campinas/SP)

| Nº | DATA      | Q (m <sup>3</sup> /s) | S (m/m)               | A (m <sup>2</sup> ) | P (m) | R <sub>H</sub> (m) | B (m) | G <sub>as</sub> (t/dia) | G <sub>ss</sub> (t/dia) |
|----|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|-------------------------|-------------------------|
| 01 | 26/03/93  | 31,69                 | 1,94.10 <sup>-4</sup> | 49,63               | 36,50 | 1,36               | 34,70 | 0,141                   | 301,57                  |
| 02 | 06/04/93  | 21,73                 | 1,97.10 <sup>-4</sup> | 41,73               | 36,30 | 1,15               | 34,87 | 0,038                   | 103,69                  |
| 03 | 20/04/93  | 16,78                 | 1,85.10 <sup>-4</sup> | 38,78               | 35,80 | 1,08               | 34,88 | 0,045                   | 151,23                  |
| 04 | 04/05/93  | 22,67                 | 2,11.10 <sup>-4</sup> | 44,71               | 37,40 | 1,20               | 34,78 | 0,045                   | 212,57                  |
| 05 | 18/05/93  | 13,12                 | 1,63.10 <sup>-4</sup> | 36,60               | 35,50 | 1,03               | 34,38 | 0,024                   | 27,54                   |
| 06 | 01/06/93  | 40,92                 | 2,31.10 <sup>-4</sup> | 55,70               | 37,10 | 1,50               | 35,24 | 0,190                   | 541,01                  |
| 07 | 08/06/93  | 23,11                 | 1,64.10 <sup>-4</sup> | 43,63               | 37,65 | 1,16               | 34,91 | 0,026                   | 81,61                   |
| 08 | 15/06/93  | 17,03                 | 1,81.10 <sup>-4</sup> | 37,96               | 35,40 | 1,07               | 34,21 | 0,008                   | 36,29                   |
| 09 | 22/06/93  | 16,91                 | 1,72.10 <sup>-4</sup> | 37,60               | 37,23 | 1,01               | 34,54 | 0,008                   | 30,77                   |
| 10 | 29/06/93  | 9,48                  | 1,64.10 <sup>-4</sup> | 31,40               | 36,00 | 0,87               | 33,99 | 0,007                   | 14,92                   |
| 11 | 06/07/93  | 8,26                  | 1,05.10 <sup>-4</sup> | 31,18               | 35,50 | 0,88               | 33,77 | 0,002                   | 12,23                   |
| 12 | 21/07/93  | 7,03                  | 0,89.10 <sup>-4</sup> | 29,13               | 35,20 | 0,83               | 33,64 | 0,006                   | 11,43                   |
| 13 | 03/08/93  | 3,74                  | 0,64.10 <sup>-4</sup> | 25,71               | 34,43 | 0,75               | 32,82 | 0,002                   | 4,63                    |
| 14 | 17/08/93  | 5,93                  | 0,30.10 <sup>-4</sup> | 27,41               | 35,20 | 0,78               | 33,53 | 0,002                   | 7,39                    |
| 15 | 31/08/93  | 6,13                  | 0,47.10 <sup>-4</sup> | 31,48               | 35,60 | 0,88               | 33,74 | 0,002                   | 8,58                    |
| 16 | 21/09/93  | 10,95                 | 1,47.10 <sup>-4</sup> | 34,11               | 35,60 | 0,96               | 33,97 | 0,006                   | 26,69                   |
| 17 | 28/09/93  | 38,11                 | 2,31.10 <sup>-4</sup> | 51,42               | 37,65 | 1,37               | 34,92 | 0,384                   | 431,23                  |
| 18 | 05/10/93  | 14,02                 | 1,47.10 <sup>-4</sup> | 35,54               | 36,30 | 0,98               | 34,38 | 0,006                   | 113,15                  |
| 19 | 21/10/93  | 22,83                 | 1,89.10 <sup>-4</sup> | 42,15               | 37,40 | 1,14               | 34,84 | 0,023                   | 174,26                  |
| 20 | 28/10/93  | 28,94                 | 2,06.10 <sup>-4</sup> | 47,48               | 37,50 | 1,27               | 34,88 | 0,037                   | 408,30                  |
| 21 | 04/11/93  | 7,25                  | 0,80.10 <sup>-4</sup> | 30,01               | 35,50 | 0,85               | 33,82 | 0,003                   | 22,51                   |
| 22 | 09/11/93  | 9,90                  | 1,30.10 <sup>-4</sup> | 31,47               | 35,35 | 0,89               | 34,01 | 0,005                   | 29,76                   |
| 23 | 20/12/93  | 21,41                 | 1,97.10 <sup>-4</sup> | 42,79               | 35,50 | 1,21               | 34,64 | 0,080                   | 168,22                  |
| 24 | 10/02/94* | 52,61                 | 0,80.10 <sup>-4</sup> | 64,04               | 38,7  | 1,65               | 35,65 | 0,332                   | 530,27                  |
| 25 | 29/03/94* | 37,7                  | 1,97.10 <sup>-4</sup> | 68,5                | 35,75 | 1,92               | 34,34 | 0,027                   | 228,66                  |
| 26 | 06/01/99  | 48,65                 | 2,30.10 <sup>-4</sup> | 74,45               | 35,33 | 2,11               | 34,79 | 1,478                   | 1336,12                 |
| 27 | 21/01/99  | 70,39                 | 2,80.10 <sup>-4</sup> | 83,50               | 35,96 | 2,32               | 35,23 | 3,703                   | 515,67                  |
| 28 | 28/01/99  | 98,49                 | 3,00.10 <sup>-4</sup> | 96,25               | 37,08 | 2,60               | 35,81 | 0                       | 2156,83                 |
| 29 | 03/02/99  | 55,26                 | 2,50.10 <sup>-4</sup> | 71,61               | 35,15 | 2,04               | 35,18 | 2,820                   | 549,97                  |
| 30 | 11/02/99  | 69,25                 | 2,80.10 <sup>-4</sup> | 80,13               | 35,71 | 2,24               | 35,26 | 3,047                   | 537,35                  |
| 31 | 25/02/99  | 70,42                 | 2,50.10 <sup>-4</sup> | 79,30               | 35,66 | 2,22               | 35,52 | 5,114                   | 767,71                  |
| 32 | 11/03/99  | 68,53                 | 2,30.10 <sup>-4</sup> | 81,07               | 35,78 | 2,27               | 35,20 | 1,803                   | 3857,23                 |
| 33 | 25/03/99  | 66,09                 | 3,00.10 <sup>-4</sup> | 79,14               | 35,64 | 2,22               | 34,99 | 3,640                   | 1346,23                 |
| 34 | 15/04/99  | 23,75                 | 2,30.10 <sup>-4</sup> | 47,23               | 33,43 | 1,41               | 33,72 | 0,020                   | 139,89                  |
| 35 | 29/04/99  | 16,54                 | 8,20.10 <sup>-4</sup> | 40,72               | 32,81 | 1,24               | 33,27 | 0,013                   | 475,32                  |
| 36 | 13/05/99  | 20,69                 | 2,60.10 <sup>-4</sup> | 43,14               | 33,05 | 1,31               | 33,41 | 0,023                   | 56,40                   |
| 37 | 09/06/99  | 18,06                 | 2,00.10 <sup>-4</sup> | 39,95               | 32,73 | 1,22               | 33,29 | 0,010                   | 42,61                   |
| 38 | 22/07/99  | 14,45                 | 2,10.10 <sup>-4</sup> | 32,65               | 32,00 | 1,02               | 32,52 | 0,003                   | 20,09                   |
| 39 | 05/08/99  | 12,64                 | 2,14.10 <sup>-4</sup> | 32,27               | 32,09 | 1,01               | 32,65 | 0,002                   | 12,16                   |
| 40 | 19/08/99  | 13,18                 | 2,10.10 <sup>-4</sup> | 32,94               | 32,18 | 1,02               | 32,78 | 0,004                   | 43,28                   |
| 41 | 02/09/99  | 10,02                 | 0,50.10 <sup>-4</sup> | 30,22               | 31,80 | 0,95               | 32,07 | 0                       | 15,54                   |
| 42 | 15/09/99  | 19,51                 | 2,10.10 <sup>-4</sup> | 41,44               | 33,17 | 1,25               | 33,31 | 0,343                   | 28,80                   |
| 43 | 30/09/99  | 8,25                  | 1,80.10 <sup>-4</sup> | 28,91               | 31,58 | 0,92               | 32,02 | 0,001                   | 14,61                   |
| 44 | 14/10/99  | 10,41                 | 2,10.10 <sup>-4</sup> | 29,95               | 31,58 | 0,95               | 32,41 | 0,003                   | 18,82                   |
| 45 | 28/10/99  | 14,18                 | 2,30.10 <sup>-4</sup> | 33,94               | 31,58 | 1,07               | 32,88 | 0,027                   | 31,00                   |
| 46 | 11/11/99  | 17,74                 | 2,00.10 <sup>-4</sup> | 31,73               | 31,58 | 1,00               | 32,80 | 0,028                   | 11,80                   |
| 47 | 25/11/99  | 22,41                 | 2,30.10 <sup>-4</sup> | 41,97               | 31,58 | 1,33               | 32,88 | 0,089                   | 82,29                   |
| 48 | 09/12/99  | 22,85                 | 2,60.10 <sup>-4</sup> | 41,46               | 31,58 | 1,31               | 33,19 | 0,036                   | 430,44                  |
| 49 | 23/12/99  | 5,33                  | 4,80.10 <sup>-4</sup> | 22,28               | 30,51 | 0,73               | 30,48 | 0,003                   | 14,70                   |

Q = descarga líquida  
S = declividade da linha d' água  
A = área molhada  
P = perímetro molhado  
B = largura do espelho d' água  
R<sub>H</sub> = raio hidráulico  
G<sub>as</sub> = desc. Sól. por arraste  
G<sub>ss</sub> = desc. Sól. Suspensa \* valores inseridos p/ completar 93

**Anexo B – Precipitações Mensais nos Postos Meteorológicos – 1993 e 1999**

**Posto Meteorológico – Prefixo D3-069 Bragança Paulista**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 187,6                 | 504,7                 | 13,19          | 63,23          |
| Fevereiro              | 312,0                 | 201,3                 | 31,33          | 13,25          |
| Março                  | 96,1                  | 131,5                 | 4,23           | 6,43           |
| Abril                  | 81,2                  | 66,0                  | 3,18           | 1,99           |
| Maiο                   | 101,7                 | 48,5                  | 4,66           | 1,18           |
| Junho                  | 35,5                  | 84,6                  | 0,78           | 3,04           |
| Julho                  | 10,1                  | 0                     | 0,09           | 0              |
| Agosto                 | 36,5                  | 0                     | 0,82           | 0              |
| Setembro               | 170,9                 | 71,6                  | 11,26          | 2,29           |
| Outubro                | 159,5                 | 47,0                  | 10,01          | 1,12           |
| Novembro               | 73,9                  | 92,3                  | 2,71           | 3,52           |
| Dezembro               | 223,3                 | 98,9                  | 17,74          | 3,96           |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7511 MJmm/h.ha</i> | <i>9179 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – D3-002 Campinas**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 259,8                 | 355,9                 | 21,23          | 43,91          |
| Fevereiro              | 275,8                 | 221,7                 | 23,50          | 19,64          |
| Março                  | 113,5                 | 88,7                  | 5,19           | 4,14           |
| Abril                  | 97,4                  | 50,7                  | 4,00           | 1,60           |
| Maiο                   | 137,5                 | 50,2                  | 7,20           | 1,57           |
| Junho                  | 48,3                  | 73,0                  | 1,22           | 2,97           |
| Julho                  | 0,8                   | 3,0                   | 0              | 0,01           |
| Agosto                 | 48,0                  | 0                     | 1,20           | 0              |
| Setembro               | 205,3                 | 73,9                  | 14,22          | 3,03           |
| Outubro                | 94,5                  | 37,8                  | 3,80           | 0,97           |
| Novembro               | 128,7                 | 96,0                  | 6,43           | 4,73           |
| Dezembro               | 185,8                 | 206,6                 | 12,01          | 17,42          |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7655 MJmm/h.ha</i> | <i>7735 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – E3-015 Itatiba**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 212,2                 | 440,0                 | 16,02          | 63,40          |
| Fevereiro              | 238,2                 | 156,8                 | 19,50          | 10,97          |
| Março                  | 161,0                 | 102,6                 | 10,02          | 5,34           |
| Abril                  | 67,4                  | 44,7                  | 2,28           | 1,30           |
| Mai                    | 130,0                 | 39,4                  | 6,97           | 1,05           |
| Junho                  | 44,9                  | 73,3                  | 1,14           | 3,01           |
| Julho                  | 9,4                   | 1,4                   | 0,08           | 0              |
| Agosto                 | 39,6                  | 0,2                   | 0,92           | 0              |
| Setembro               | 167,8                 | 68,1                  | 10,75          | 2,66           |
| Outubro                | 148,9                 | 30,0                  | 8,77           | 0,66           |
| Novembro               | 112,7                 | 99,7                  | 5,47           | 5,08           |
| Dezembro               | 227,7                 | 115,5                 | 18,06          | 6,53           |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7327 MJmm/h.ha</i> | <i>8159 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – E3-154 Jarinú**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 184,7                 | 471,8                 | 13,65          | 57,65          |
| Fevereiro              | 285,2                 | 264,3                 | 28,56          | 21,53          |
| Março                  | 87,8                  | 122,5                 | 3,85           | 5,82           |
| Abril                  | 46,4                  | 66,1                  | 1,30           | 2,04           |
| Mai                    | 110,6                 | 38,2                  | 5,71           | 0,80           |
| Junho                  | 42,6                  | 79,7                  | 1,13           | 2,80           |
| Julho                  | 9,4                   | 0                     | 0,09           | 0              |
| Agosto                 | 46,8                  | 0                     | 1,32           | 0              |
| Setembro               | 169,2                 | 62,8                  | 11,76          | 1,87           |
| Outubro                | 162,7                 | 43,9                  | 11,00          | 1,02           |
| Novembro               | 86,5                  | 72,7                  | 3,76           | 2,40           |
| Dezembro               | 216,4                 | 99,2                  | 17,87          | 4,07           |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7258 MJmm/h.ha</i> | <i>9123 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – E3-247 Atibaia**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 228,8                 | 321,5                 | 16,08          | 36,24          |
| Fevereiro              | 325,5                 | 394,4                 | 29,27          | 41,74          |
| Março                  | 190,8                 | 146,1                 | 11,81          | 9,48           |
| Abril                  | 67,0                  | 39,5                  | 1,99           | 1,03           |
| Mai                    | 111,7                 | 35,2                  | 4,75           | 0,84           |
| Junho                  | 46,3                  | 62,2                  | 1,06           | 2,22           |
| Julho                  | 13,1                  | 14,2                  | 0,12           | 0,18           |
| Agosto                 | 37,3                  | 0                     | 0,74           | 0              |
| Setembro               | 200,1                 | 60,3                  | 12,80          | 2,11           |
| Outubro                | 79,3                  | 30,0                  | 2,65           | 0,64           |
| Novembro               | 79,3                  | 66,6                  | 2,65           | 2,49           |
| Dezembro               | 228,8                 | 74,7                  | 16,08          | 3,03           |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7781 MJmm/h.ha</i> | <i>8208 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – E3-046 Morungaba**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 175,6                 | 448,9                 | 10,63          | 50,35          |
| Fevereiro              | 291,7                 | 246,2                 | 25,20          | 18,14          |
| Março                  | 95,6                  | 110,9                 | 3,78           | 4,67           |
| Abril                  | 82,7                  | 72,5                  | 2,96           | 2,27           |
| Mai                    | 108,8                 | 68,0                  | 4,71           | 2,04           |
| Junho                  | 63,0                  | 89,6                  | 1,86           | 3,25           |
| Julho                  | 12,1                  | 5,1                   | 0,11           | 0,02           |
| Agosto                 | 61,8                  | 1,9                   | 1,80           | 0              |
| Setembro               | 185,2                 | 74,4                  | 11,64          | 2,37           |
| Outubro                | 206,3                 | 63,7                  | 13,98          | 1,82           |
| Novembro               | 138,5                 | 124,8                 | 7,10           | 5,71           |
| Dezembro               | 225,1                 | 166,6                 | 16,22          | 9,34           |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7645 MJmm/h.ha</i> | <i>8752 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – D3-63R Bragança Paulista**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 141,2                 | 483,4                 | 7,97           | 47,04          |
| Fevereiro              | 388,8                 | 274,6                 | 44,57          | 17,98          |
| Março                  | 163,0                 | 122,4                 | 10,17          | 4,55           |
| Abril                  | 50,9                  | 59,1                  | 1,41           | 1,32           |
| Mai                    | 95,8                  | 31,7                  | 4,12           | 0,46           |
| Junho                  | 28,8                  | 84,2                  | 0,53           | 2,41           |
| Julho                  | 13,4                  | 4,0                   | 0,15           | 0,01           |
| Agosto                 | 39,3                  | 0,7                   | 0,91           | 0              |
| Setembro               | 166,3                 | 80,6                  | 10,52          | 2,24           |
| Outubro                | 133,6                 | 68,3                  | 7,25           | 1,69           |
| Novembro               | 26,0                  | 169,5                 | 0,45           | 7,92           |
| Dezembro               | 179,3                 | 240,7                 | 11,96          | 14,38          |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7956 MJmm/h.ha</i> | <i>9803 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

**Posto Meteorológico Prefixo – IAC-Campinas**

| Mês                    | r (mm) – 1993         | r (mm) – 1999         | E.I (%) – 1993 | E.I (%) – 1999 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Janeiro                | 204,3                 | 420,3                 | 15,69          | 51,37          |
| Fevereiro              | 340,9                 | 228,1                 | 37,47          | 18,17          |
| Março                  | 122,8                 | 140,5                 | 6,61           | 7,97           |
| Abril                  | 85,2                  | 48,9                  | 3,55           | 1,33           |
| Mai                    | 100,7                 | 47,1                  | 4,71           | 1,24           |
| Junho                  | 41,9                  | 70,1                  | 1,06           | 2,45           |
| Julho                  | 11,6                  | 0                     | 0,12           | 0              |
| Agosto                 | 38,0                  | 0                     | 0,90           | 0              |
| Setembro               | 128,5                 | 64,4                  | 7,13           | 2,12           |
| Outubro                | 67,1                  | 32,7                  | 2,36           | 0,67           |
| Novembro               | 106,4                 | 65,4                  | 5,18           | 2,17           |
| Dezembro               | 200,6                 | 183,1                 | 15,21          | 12,51          |
| <i>Fator Chuva (R)</i> | <i>7473 MJmm/h.ha</i> | <i>8525 MJmm/h.ha</i> | 100%           | 100%           |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATIBAIA. Prefeitura Municipal da Estância. Secretaria de Turismo e Meio Ambiente.

BASILIO, E. S.. *Agregados Para Concreto*. In BAUER, L. A. F.. (Coord. ). **Materiais de Construção**. 3ª Ed. , Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Vol I, Cap. 4 , 1987, p: 65.

BARROS, A.. **Sistemas de Informações Georeferenciadas: Uma Introdução**. Apostila. Instituto de Geociências – UNICAMP, 1996, p: 45 – 49.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do Solo**. Ícone Editora, Barra Funda, SP, 1990, p: 1 - 355.

BLOOM, A. L.. **Superfície da Terra**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, Cap. 3 a 7; 1970, p: 20 - 168. (Série de Textos Básicos de Geociência).

BOWLES, J. E.. **Physical and Geotechnical Properties of Soils**. 2ª Ed. McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1984, p: 47.

BRAGANÇA PAULISTA. Prefeitura Municipal. Secretaria de Esportes, Cultura e Turismo.

BRANCO, S. M. & ROCHA, A. A.. *O Meio Terrestre: Solo*. **Ecologia: Educação Ambiental – Ciências do Ambiente para Universitários**. ASCETESB - Associação dos Funcionários da CETESB, São Paulo, Cap. 7 , 1984, p: 67 – 84.

BURROUGH, P. A. **Principes of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986, p: 194.

CAMARGO, E. P.. **“As mil faces de Valinhos”** – Guia Turístico e Informativo. Jornal Terceira Visão. Valinhos, 28/05/1999, nº 1, p: 1 - 15.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal. Secretaria de Cultura, Esportes e Turismo.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. **Sumário de Dados da População de Campinas e Região**, 1998, p: 7 – 118.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. **Sumário de Dados Econômicos de Campinas e Região**, 1999, p: 12 – 43.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente – SEPLAMA. **Plano de Gestão da Área de Proteção Ambiental da Região de Sousas e Joaquim Egídio – APA Municipal**. Março, 1996, p: 1 – 70.

CARVALHO, N. O. C.. *Transporte de sedimentos*. **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS, Cap. 3, 1994, p: 55 – 71.

CARVALHO, N. O. C.. *Equipamentos de Hidrossedimentometria*. **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS, Cap. 4, 1994, p: 75 – 109.

CERRI, C. E. P.. **Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. Piracicaba: ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, 1999. (Dissertação, Mestrado em Agronomia), p: 17.

CHRISTOFOLETTI, A.. *Transporte Fluvial de Sedimentos*. **Geomorfologia Fluvial**. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, Vol I, Cap. 2, 1981, p: 19 - 52.

COIADO, E. M.. *Planejamento do programa de coleta de dados e de processamento dos mesmos – análise da adequabilidade da aparelhagem de medida utilizada*. **Hidráulica Fluvial – Parte 1: Transporte de Sedimentos**. UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil – DRH, Cap. 8, 1998, p: 90 – 111 ( Apostila).

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS – PCJ.. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 1995**. São Paulo: DAEE, 1996, p: 3.

COSTA, J. L. T. da.. **A Contribuição de Sedimentos por Áreas Agrícolas Devida à Eventos Pluviosos**. Limeira: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 1988, p: 1 – 110 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).

DONZELI, P. L., VALÉRIO FILHO, M., PINTO, S. A. F. et al.. *Técnicas de Sensoriamento Remoto Aplicadas ao Diagnóstico Básico para Planejamento e Monitoramento de Microbacias Hidrográficas*. In: Lombardi Neto, F. & Camargo, O. A.. **Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga / SP)**. Campinas, 1992, p: 91 – 120 (Documentos do IAC, 29).

FIGUEIREDO, A. G.. **A Dinâmica da Produção e Transporte de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Aguapeí**. Vol. I , 1993 (Tese, Doutorado – Poli/USP), p: 1 – 100.

GARDE, R. J. & RANGA RAJU, K. G.. **Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1985, p: 1 – 420.

GLYMPH, L. M.. *Evolving Emphases in Sediment – Yield Predictions*. **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources**. ARS – S – 40. U. S. Department of Agriculture, June/1975, p: 1 - 4.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro, Vol. XXVIII, XXIX, XXX, 1958, p: 90 - 475.

ITATIBA. Prefeitura Municipal. Secretaria do Turismo. Censo Cultural e Turístico.

JARINÚ. Prefeitura Municipal.

LAL, R.. *Soil Erosion and Land Degradation: The Global Risks*. **Advance in Soil Science**. Vol. 7, 1990, p: 130.

MARSH, W. M.. *Topography, Slopes, and Land Use Planning*. **Landscape Planning Environmental Applications**. 2. Ed. Ed John Willey & Sons, Inc, USA, 1991, p: 51 – 64.

- MARSH, W. M.. *Soil Erosion, Land Use, and Stream Sedimentation*. **Landscape Planning Environmental Applications**. 2. Ed. Ed John Willey & Sons, Inc, USA, 1991, p: 177 – 191.
- MARTINS, A. L.. **Império do Café: A Grande Lavoura no Brasil 1850 a 1890**. 7ª Ed. São Paulo: Atual, 1993, p: 1 – 93 (História em Documentos).
- MEYER, L. D. & MUTCHLER, C. K.. *Soil Erosion - An Overview of Onsite and Offsite Consequences*. **Advances in Hydro - Science and - Engineering**. Vol. I, 1993, p: 581 – 587. ISBN 0-937099 –02-3 (2- Part Set).
- MORAES, M. O. X de O.. **Esta é Bragança**. Datagraf Serviços Gráficos. Bragança Paulista, 1997, p: 1 - 63.
- MORUNGABA. Prefeitura Municipal da Estância Climática. Diretoria de Esportes e Turismo.
- NASCIMENTO, A. P.. **Estimativa da carga de lavagem transportada pelo rio Atibaia/SP**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2001, p: 1 – 199 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).
- NASCIMENTO, A. P., MARTINS, M. E. & COIADO, E. M.. **Descarga Sólida Transportada por Um Rio Poluído**. Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos. 4º Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Santa Maria / RS, 2000, p: 121 – 129.
- NEARING, M. A. .. *Principles and Processes of Soil Erosion*. **Advances in Hydro - Science and - Engineering**. Volume I, 1993, p: 588 – 595. ISBN 0-937099-02-3 (2–Part Set).

PAIVA, L. E. D. de.. **Aplicação de Métodos Macroscópicos na Determinação da Carga Sólida Total Transportada em Rios**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 1994, p: 1 – 100 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).

RANIERI, S. B. L.. **Avaliação de Métodos e Escalas de Trabalho Para Determinação de Risco de Erosão em Bacia Hidrográfica Utilizando Sistema de Informações Geográfica (SIG)**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - USP, 1996, p: 1 – 120 (Dissertação, Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental).

RENFRO, G. W.. *Use Of Erosion Equations and Sediment – Delivery Ratios for Preticting Sediment Yield. Present and Prospective Tecnology for Predicting Sediment Yields and Sources*. ARS – S – 40. U.S. Department of Agriculture, June/1975, p: 33 – 34.

SAMPAIO, T.. **São Paulo no Século XIX e Outros Ciclos Históricos**. 2ª Ed. Petrópolis: Editora Vozes Ltda., 1978, p: 81 – 91 (Coleção Dimensões do Brasil).

SANTIN, D. A.. **A Vegetação Remanescente do Município de Campinas (SP): Mapeamento, Caracterização Fisionômica e Florística, Visando a Conservação**. Campinas: Instituto de Biologia – UNICAMP, 1999, p: 12 (Tese, Doutorado em Ciências Biológicas).

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE.. **Estabelecimento de Metas Ambientais e Reenquadramento dos Corpos D'água: Bacia do Piracicaba / Secretaria do Meio Ambiente – São Paulo**. A Secretaria, 1994, p: 1 - 12 (Propostas para Discussão) ISSN 0103-4103.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Perfil Ambiental do Estado de São Paulo** (CD-ROM: Versão 1999 – SMA / CPLA – Coordenadoria de Planejamento Ambiental).

TAUNAY, A. de E.. **História do Café no Brasil. No Brasil Imperial 1872 – 1889**. Edição do Departamento Nacional do Café, Rio de Janeiro, Vol VIII, Cap. IV, 1939, p: 48 – 49.

VALERIANO, M. M.. **Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem de perda de solos**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1999, p: 1 – 160 (Tese, Doutorado em Geociências e Meio Ambiente).

VILLELA, M. S. & MATTOS, A .. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1975, p: 1 – 63.

WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D.. **Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning**. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook nº 537, December 1978, p: 1 – 35.

**BIBLIOGRAFIAS RECOMENDADAS**

- ARAÚJO, F. C.. **Estrada de Ferro Bragantina – Uma Trajetória nos Trilhos do Tempo (1872 - 1967)**. Prefeitura Municipal de Bragança Paulista – Secretaria de Cultura, Esportes e Turismo. Gráfica Conquista, 1998.
- CARDOSO, A. H.. *Erosão Hidrica. Hidráulica Fluvial*. Edição da Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, Cap. 5, 1998, p: 97.
- CASSOL, E. A.. *Solos: Formação, Propriedades, Utilização e Conservação*. In: MAGALHÃES, A. (Coord.) & BORDINI, M. da G. (Coord.). **Grande Manual Globo de Agricultura, Pecuária e Receituário Industrial**. 2º Ed. Porto Alegre: Editora Globo, Vol. I, 1979, p: 162 – 172.
- COIADO, E. M.. **Distribuição de Velocidades e Concentrações de Sedimentos para o Estudo da Descarga Sólida Transportada pelo rio Atibaia / SP**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 1997 (Relatório Científico Encaminhado ao CNPq).
- COMISSÃO DE ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo**. Vol. I, Capítulo III, São Paulo, Dez/1974, p: 90.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (CBH – PCJ). **IMPLANTAÇÃO, RESULTADOS E PERSPECTIVAS**. Campinas: Arte Brasil, 1996, p: 3 – 75.
- FERGUSON, B. K.. *Erosion and Sedimentation Control in Regional and Site Planning*. **Journal of Soil and Water Conservation**. Vol 36, nº 4, 1981, p: 199 – 204.
- FORNASARI FILHO, N. (Coord.) et alli.. **Alterações do Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992, Boletim 61, p: 123 – 130.

- GRISHIN, M. M.. *River Training and control works. Hydraulic Structures*. Mir Publishers Moscow. 2º Ed. Vol. 2, Part 7, Chapter 28, 1987, p: 217 – 228.
- HOLTZ, A. C. T.. *Precipitação*. In: Pinto, N. L. de S., Holtz, A. C. T., Martins, J. A. & Gomide, F. L. S.. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher LTDA, Cap. 2, 1976, p: 7 - 34.
- LAMBE, T. W. & WITMAN, R. V.. **Soil Mechanics**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1969.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo**. Boletim 12, Rio de Janeiro/Brasil, 1960, p: 65 – 79 (Contribuição à Carta de Solos).
- MÜLLER, A. C.. *Impacto sobre os fatores naturais. Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Makron Books, Ed. McGraw - Hill, 1995, p: 149 - 162.
- PIRES NETO, A. G.. **As Abordagens Sintético – Histórica e Analítico – Dinâmica, Uma Proposição Metodológica para a Geomorfologia**. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Depart. de Geografia - USP, 1991 (Tese, Doutorado em Geografia).
- SIVIERO, M. R. L. & COIADO, E. M.. **Descarga Sólida Transportada numa Seção do Rio Atibaia e a Produção de Sedimentos na Bacia a Montante**. 3º Encontro Brasileiro de Organismos de Bacias Hidrográficas. Piracicaba/SP, 4 a 6/10/1999, p: 75 – 80.
- SIVIERO, M. R. L. & COIADO, E. M.. **A Produção de Sedimentos a Montante de uma Seção no Rio Atibaia Associada à Descarga Sólida Transportada**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte/ MG, 28/11 a 2/12/1999, p: 124.
- SIVIERO, M. R. L.. **A Produção de Sedimentos a Montante de uma Seção do Rio Atibaia Associada á Descarga Sólida Transportada**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 1999, p: 1 – 82 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).

SIVIERO, M. R. L.. & COIADO, E. M.. **Volume Anual de Sedimentos produzido numa Bacia e o que Passa por uma Seção de Medições a Jusante**. XX Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Havana/Cuba, 1 a 5/10/2002, p: 96.

SOUZA, M. E. de.. **Utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na Análise do Meio Físico. Estudo de Caso: A Área do Município de Campinas entre Meridianos 47°15' e 46°45' W e os Paralelos 22°45' e 22°51' S**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 1997. (Dissertação, Mestrado em Saneamento e Ambiente).

THAME, A. C. M.. **Racionamento de Água em São Paulo**. Revista Crea – SP, Ano 1, N° 2, Julho/Agosto 2001, p: 17 – 18.

U. S. B. R.. **Earth Manual – A Guide to the Use of Soils as Foundation and Construction Materials for Hydraulic Structures**. A Water Resources Tecnical, Publication, 2. Ed., 1974, p: 29 – 30.

VARGAS, M.. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

## ABSTRACT

The amount present of sediments in rivers or water courses are gaining importance with the increasing utilization of water resources. Because, with the increasing of population, more and more rivers are being harnessed for multipurpose use – water supply, irrigation, power generation ,etc. This population increment involve, certainly a stimulate the rising of sediment discharge because of urban sprawl, therefore a management more severe water resources is needful.

Thus, the object of this study is to qualify and to quantity a solid load transport at a gauging station (bridge) on the Atibaia river and to associate with land use and, also to determine the amount of soil from the watershed (erosion), in 1993 and 1999 years.

The concentration of solid load was measured in the Atibaia river section, on bridge in Sousas District/Campinas City, where the average was around 147 Mg/day in 1993 and 522 Mg/day in 1999; make-up clay, silt, sand and gravel. It has been around 50% of bed material as medium sand. The estimation of sediments yield was giving by sediments transport equations (Garde & Ranga Raju, 1985).

The calculation of Universal Soil Loss Equation (USLE) from the drainage area of Atibaia river portion (watershed), was 7,3 Mg/ha in 1993 and 7,8 Mg/ha in 1999.

So, the sediment volume measured in the Atibaia river section was 8% in 1993 and 26% in 1999, when it was compared with total volume of soil loss from watershed.

Although, the sediments transport equations aren't interpreting the measures, if to confront the measures achieved in 1993 year with 1999 year and USLE calculation, the sames are showing an accentuate antropics activities in watershed, mainly because urban sprawl.

Key-Words: Sediment Yield, Sediment Transport, Solid Load Transport, Erosion, Soil Loss, Universal Soil Loss Equation.

