

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

**A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA
SÓLIDA TRANSPORTADA**

Maria Rejane Lourençoni Siviero

**Campinas / SP / Brasil
Março/1999**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

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

**A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA
SÓLIDA TRANSPORTADA**

Maria Rejane Lourençoni Siviero

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese. 194103

Prof. Dr. 

Matrícula: 051801

**Campinas - SP - Brasil
Março/1999**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

UNIDADE	Be
Nº CHAMADA	TUNICAMP Si 94p
V	EX
TOMBO BCI	54433
PROC.	124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	19/06/03
Nº CPD	

CMOD1B562B-4

BIB ID 293679

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

Si94p Siviero, Maria Rejane Lourençoni
A produção de sedimentos a montante de uma seção do Rio Atibaia associada à descarga sólida transportada. / Maria Rejane Lourençoni Siviero.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Evaldo Miranda Coiado
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

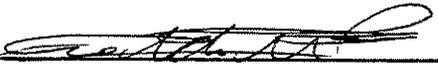
1. Transporte de Sedimento. 2. Solos - Erosão. 3. Bacias hidrográficas - Medição. I. Coiado, Evaldo Miranda. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

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

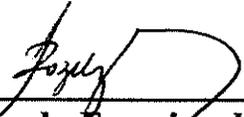
**A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
A MONTANTE DE UMA SEÇÃO DO
RIO ATIBAIA ASSOCIADA À DESCARGA
SÓLIDA TRANSPORTADA**

Maria Rejane Lourençon Siviero

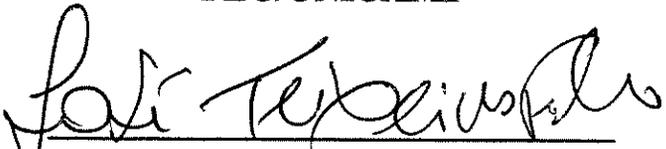
Dissertação de Mestrado aprovado pela Banca Examinadora, constituída por:



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



Prof.ª Dr.ª Rózely Ferreira dos Santos
FEC/UNICAMP



Prof. Dr. José Teixeira Filho
FEAGRI/UNICAMP

Campinas, 02 de Março de 1999.

652103008

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por essa oportunidade e aos professores; principalmente, ao Prof. Evaldo M. Coiado, familiares (Gilson Siviero, esposo e Ricardo e Guilherme Siviero, filhos); amigos e à CAPES (concessão da bolsa) por ajudar-me à cumpri-la.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	VIII
	LISTA DE QUADROS	X
	LISTA DE TABELAS	XI
	LISTA DE SÍMBOLOS	XII
	RESUMO	XV
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DO TRECHO EM ESTUDO	2
1.1.1	Considerações Sobre o Segmento de Área Delineada no Trecho em Estudo	3
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	O FENÔMENO DA EROSIÃO	5
2.2	Os processos da erosão: Agentes	6
2.2.1	Vento: Erosão Eólica	6
2.2.2	Gelo: Erosão Glacial	6
2.2.3	Gravidade: Movimentos do Regolito	7
2.2.4	Água em Movimento: Erosão Fluvial, Marinha e Hídrica	7
2.2.4.1	Rios: Erosão Fluvial	7
2.2.4.2	Marés: Erosão Marinha	9
2.2.4.3	Chuva e Escoamento Superficial: Erosão Hídrica	9
2.3	ANÁLISE DOS FATORES QUE AFETAM A EROSIÃO	10
2.3.1	Chuva	10
2.3.2	Escoamento Superficial	11
2.3.3	Solo	11
2.3.4	Topografia	12

2.3.5	Uso do solo	12
2.3.6	Práticas Conservacionistas	12
2.4	O PRODUTO GERADO PELA EROSÃO: SEDIMENTOS	13
2.4.1	Propriedades das Partículas dos Sedimentos	13
2.4.1.1	Tamanho	13
2.4.1.2	Forma	14
2.4.1.3	Velocidade de Queda	14
2.4.1.4	Composição Mineral	15
2.4.1.5	Textura Superficial	15
2.4.1.6	Orientação	15
2.4.2	Propriedades Volumétricas dos Sedimentos	17
2.4.2.1	Distribuição do Tamanho	17
2.4.2.2	Porosidade	17
2.4.2.3	Peso Específico	18
2.4.2.4	Ângulo de Repouso	18
2.4.3	Dinâmica dos Sedimentos Produzidos	20
2.4.4	Equações Propostas para Quantificar os Sedimentos	21
2.5	ESTIMATIVA DA EROSÃO: EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO	23
2.5.1	Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	26
2.5.2	Análise dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	28
2.5.2.1	Fator Chuva (R)	28
2.5.2.2	Fator Erodibilidade do Solo (K)	30
2.5.2.3	Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS)	40
2.5.2.4	Fator Uso e Manejo do Solo (C)	40
2.5.2.5	Fator Prática Conservacionista (P)	42
2.5.3	Considerações sobre a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	MEDIDAS FLUVIOSSIDIMÉTRICAS NA SEÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO DO RIO ATIBAIA	44
3.1.1	Introdução	44
3.1.2	Seção de Medidas	44
3.1.3	Hidrometria	44
3.1.3.1	Medição de Vazão	44

3.1.4	Sedimentometria	47
3.1.4.1	Medição da Vazão Sólida de Fundo	47
3.1.4.2	Medição da Descarga Sólida em Suspensão	48
4	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS) E DAS EQUAÇÕES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (GARDE & RANGA RAJU, 1985)	51
4.1	DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM MÉDIA	51
4.2	DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA DO RIO ATIBAIA - TRECHO EM ESTUDO	51
4.3	DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA DA ÁREA DE DRENAGEM	51
4.4	DETERMINAÇÃO DAS DESCARGAS LÍQUIDA, SÓLIDA DE FUNDO E EM SUSPENSÃO MÉDIAS NA SEÇÃO DE MEDIDAS	57
4.5	DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL	57
4.6	DETERMINAÇÃO DO FATOR ERODIBILIDADE	57
4.6.1	Determinação do Fator Chuva (R)	57
4.6.2	Determinação do Fator Erodibilidade do Solo (K)	57
4.6.3	Determinação do Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS)	59
4.6.4	Determinação do Fator Uso e Manejo do Solo (C)	59
4.6.5	Determinação do Fator Prática Conservacionista (P)	59
5	RESULTADOS	63
5.1	RESULTADOS DAS APLICAÇÕES DAS EQUAÇÕES (4), (5), (6) E (8) CONSTAM DA TABELA 5.1 A SEGUIR	63
5.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
6	CONCLUSÕES	66
7	RECOMENDAÇÕES	68
	ANEXOS	69
	ANEXO A – Segmento de Área Delineado no Trecho em Estudo	70
	ANEXO B – Medidas Fluviassedimétricas da Seção em Estudo	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	80
	ABSTRACT	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Bacia do Piracicaba – Trecho em Estudo – rio Atibaia (CBH-PCJ - Implantação, Resultados e Perspectivas Jul/1996)	4
Figura 2.1	Esquema da cadeia energética do sol ao cabeço rochoso fragmentado pelas ondas (Bloom, 1970)	9
Figura 2.2	Textura das partículas que compõem os solos (Bowles, 1984)	16
Figura 2.3	Ângulos de repouso para vários tipos de solos (Marsh, 1991)	19
Figura 2.4	Diagrama da Equação Universal de Perda de Solo (Modificado de - Costa, 1988)	27
Figura 2.5	Esquema do mecanismo de impacto da gota d'água em planos de: A) alta e, B) baixa resistência (Nearing, 1993)	28
Figura 2.6	Valores médios anuais do índice de erosão da chuva do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto Modificado, 1990)	31
Figura 2.7	Distribuição do potencial de erosão das chuvas do Estado de São - Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)	32
Figura 2.8	Nomograma de erodibilidade do solo (Wischmeier & Smith, 1978)	33
Figura 2.9	Parte da Carta de Solos do Estado de São Paulo (Contribuição à - Carta de Solos do Brasil, 1960 – Escala 1:500.000)	38
Figura 3.1	Croquí com as posições das réguas linimétricas e a seção de medidas	45
Figura 3.2	Seção de medidas – rio Atibaia – Distrito de Sousas / Campinas	46
Figura 4.1	Perfil longitudinal do rio no trecho em estudo	54
Figura 4.2	Perfil longitudinal do rio no trecho em estudo (separado em 2 Km)	55
Figura 4.3	Classes de declividade do segmento de área delineado (sem escala)	60
Figura 4.4	Estrada Municipal CAM – 127 (Acesso Valinhos / Joaquim Egídio) a) lado esquerdo e b) lado direito	61

Figura 4.5 a)Rodovia Dom Pedro I em frente à captação d'água da SANASA /
Campinas;
b)Av. Antonio C. C. Barros em frente a Vila Santana/Distrito de -
Sousas/Campinas.

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Classificação dos movimentos do regolito (Bloom, 1970)	8
Quadro 2.2	Tamanhos e denominações das partículas de sedimentos, Garde & Ranga Raju (1985)	14
Quadro 2.3	Valores de pesos específicos de alguns minerais (Modificado de Garde & Ranga Raju, 1985)	15
Quadro 2.4	Relação entre porosidade efetiva e tamanho da partícula (Garde & Ranga Raju, 1985)	17
Quadro 2.5	Relação de peso específico e tamanho do sedimento (Modificado de Garde & Ranga Raju, 1985)	18
Quadro 2.6	Valores do ângulo de repouso, Simons (Garde & Ranga Raju, 1985)	18
Quadro 2.7	Valores do fator erodibilidade (F_c), segundo Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985)	22
Quadro 2.8	Relação de erosão dos horizontes superficiais e subsuperficiais para várias unidades de dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)	36
Quadro 2.9	Limites de tolerâncias de perdas por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)	37
Quadro 2.10	Valores de C (Marsh, 1991)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Determinação da área média do trecho em estudo	52
Tabela 4.2	Determinação da declividade média do rio atibaia no trecho em estudo	53
Tabela 4.3	Determinação da declividade média da área do trecho em estudo rio atibaia	56
Tabela 4.4	Determinação das descargas líquida, sólida de fundo e em suspensão médias	58
Tabela 4.5	Determinação da precipitação média anual	58
Tabela 4.6	Determinação do fator comprimento da vertente e de declive (LS)	59
Tabela 4.7	Determinação do fator C médio	59
Tabela 5.1	Resultados das aplicações das equações (4), (5), (6) e (8) constam da Tabela 5.1 a seguir	63

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Constante da Equação de Kirkby;
A	Área da Bacia Hidrográfica; Área da Bacia; Perda de Solo Média Anual; Horizonte de Solo;
A3	Subhorizonte de transição de solo;
AC	Horizonte de solos pouco desenvolvidos;
AD	Horizonte de solos pouco desenvolvidos;
Ai	Área i;
Ap	Subhorizonte de solo;
B	Constante da Equação Kirkby;
B	Horizonte de solo;
B1	Subhorizonte de transição de solo;
C	Fator uso e manejo do solo; Horizonte de solo; Comprimento de rampa do terreno;
Ci	Concentração dos sólidos totais em suspensão;
Ci'	Concentração dos sólidos fixos em suspensão;
D	Grau de declive do Terreno;
Dd	Densidade de drenagem;
E	Provável perda de solo;
Ec	Energia cinética da chuva;
E.I	Índice de erosão; medida da erosividade da chuva;
E.I ₃₀	Índice de erosão da chuva em 30 minutos;
F	Fator do solo;
Fc	Fator de erodibilidade;

gsai	Descarga sólida em peso seco que passa pela boca do aparelho;
gssi	Descarga sólida em suspensão da vertical i ;
h	Cota da área (i);
Ht	Diferença das cotas entre o trecho em estudo;
I	Intensidade da chuva;
I ₃₀	Intensidade máxima da chuva em 30 minutos;
K	Fator de erodibilidade;
Ki	Constante de correção do aparelho;
L	Comprimento do talvegue do trecho em estudo (separado em 2 km);
li	Faixa de influência da medição; largura da faixa de influência;
L	Comprimento da bacia; Comprimento do declive; Fator comprimento do declive;
LS	Fator comprimento da vertente e de declive;
Lt	Comprimento do talvegue do trecho em estudo;
P	Precipitação média anual
P	Precipitação média anual, Fator prática conservacionista;
P ₃₀	Chuva; Intensidade máxima da chuva em 30 minutos com frequência de 2 anos;
Ps	Peso sólido coletado pelo aparelho no intervalo de tempo Δt ;
Pi	Porcentagem de vazão líquida que passa na faixa de influência dessa vertical;
pc	Peso da cápsula de porcelana;
pca	Peso da cápsula de porcelana mais amostra à 105 ° C;
pca'	Peso da cápsula de porcelana mais amostra à 550 ° C;
pf	Peso do microfiltro;
pfa	Peso dos sólidos totais retidos pelo microfiltro;
pfa'	Peso dos sólidos fixos retidos pelo microfiltro;
PV	Podzólico vermelho-amarelo orto;
Q	Escoamento médio anual, Decarga líquida; Vazão líquida total da seção;
Qsa	Descarga sólida transportada junto ao leito;
Qss	Descarga sólida em suspensão;
r	Precipitação média mensal;
R	Fator referente à cobertura vegetal; Fator chuva;

Somatória A_i	Somatória das áreas (i) abaixo da curva do perfil longitudinal do trecho em estudo;
S_t	Declividade média do talvegue do trecho em estudo;
\bar{V}_i	Velocidade média medida na vertical i ;
V_f	Volume da amostra filtrada;
V_S	Volume aparente;
V_{SA}	Volume absoluto;
Y	Profundidade total ;
\bar{Y}_{mi}	Profundidade da faixa de influência i .

RESUMO

O constante crescimento da população mundial certamente provoca um aumento da liberação de sedimentos devido à expansão urbana. Esse crescimento populacional implica, também em um aumento da demanda d'água para múltiplos propósitos, deste modo é necessário um gerenciamento mais rigoroso dos recursos hídricos.

Assim, o objetivo desse trabalho visa quantificar e qualificar a descarga sólida transportada numa seção do rio Atibaia e associá-la à produção de sedimentos a montante dessa seção.

A quantificação da descarga sólida medida na própria seção do rio é cerca de 0,107 Mm³/ano, constituída por argila, silte, areia e cascalho. A estimativa da produção de sedimentos deu-se pela aplicação de Equações de Transporte de Sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985), as quais mostraram-se satisfatórias e, também pela Equação Universal de Perda de Solo em um segmento de área, delineado aleatoriamente no trecho, com extrapolação de seus resultados para a área de drenagem em estudo, demonstrando que está ocorrendo erosão acelerada na Sub-bacia do Atibaia.

Palavras-Chave: Produção de Sedimento, Transporte de Sedimento, Descarga Sólida Transportada, Erosão.

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.

A Sub-bacia do Atibaia – Bacia do Piracicaba é um exemplo das observações em nível mundial. Devido à urbanização intensa os seus recursos hídricos, vêm sofrendo perda de qualidade pelo aumento das cargas sólidas de origem mineral e orgânica. Grande parcela da carga de origem mineral é resultante dos processos erosivos, e a de origem orgânica deve-se à fontes poluidoras.

A escolha da Sub-bacia do Atibaia a montante do córrego Cachoeira decorre do 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, Itatiba, 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 trabalho objetivando quantificar e qualificar a descarga sólida transportada numa seção do rio Atibaia e associá-la à produção de sedimentos a montante desta seção.

O conhecimento das características físicas da bacia hidrográfica, aliada à produção de sedimentos que serão carreados para calha do rio, se traduzem em termos quantitativos de descarga sólida transportada.

A quantificação da descarga sólida foi realizada na própria seção do rio Atibaia e a estimativa da produção de sedimentos deu-se pela aplicação de Equações de Transporte de Sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985) e, também pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), para as campanhas realizadas de 1993 a 1997.

1.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DO TRECHO EM ESTUDO

A Bacia do Piracicaba possui uma área de drenagem de 12.400 km², está dividida pelo Comitê das Bacias Hidrográficas (CBH-PCJ) em: Sub-Bacia do Atibaia (2.760 km²), Sub-Bacia do Corumbataí (1.700 km²), Sub-Bacia do Jaguarí (4.290 km²) e Sub-Bacia do Piracicaba (3.650 km²), conforme está ilustrado na Figura 1.1.

O trecho em estudo pertence à Sub-bacia do Atibaia, contém 71,85 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' 37'' e 47° 02' 08'' W e os paralelos 22° 52' 38'' e 23° 11' 38'' S. O rio Atibaia neste trecho possui declividade média de 0,171%, 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 do trecho em estudo é de 735,38 km², com declividade média de 0,815%, sendo composta pelos Municípios de Campinas, Valinhos, Vinhedo, Morungaba, Itatiba, 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.

Dado a heterogeneidade do trecho em estudo aliado à complexidade dos parâmetros que envolvem as equações, optou-se por delinear um segmento de área no trecho em estudo do rio Atibaia para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo.

1.1.1- Considerações Sobre o Segmento de Área Delineado no Trecho em Estudo

O segmento de área foi escolhido aleatoriamente e, contém 12,5 km do rio Atibaia, possui uma área de 13,05 km², está localizado na margem direita do rio entre a passarela de pedestre (antiga ponte de trem), no Distrito de Sousas e o Córrego das Três Pedras no Distrito de Sousas, Município de Campinas, entre os meridianos 46° 54' 53'' e 46° 58' 30'' W e os paralelos 22° 52' 38'' e 22° 55' 45'' S (Anexo A).

Trata-se de um local onde há baixa densidade demográfica e predominância de economia rural. Nas características do meio físico podemos destacar que o solo superficial é Podzólico vermelho-amarelo, o relevo caracteriza-se por morros, morrotes e escarpas com topos estreitos e vertentes descontínuas, as altitudes variam de 738 a 863 m.

A vegetação possui densidade de cobertura variável composta por estrato arbustivo, capoeira e relva, encontrando-se ainda associada a solos pedregosos com afloramentos rochosos nas encostas dos morros.

1.2 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho compõe-se dos capítulos, os quais estão dispostos a seguir: Introdução; Revisão Bibliográfica; Materiais e Métodos; Determinação dos Parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e das Equações de Transporte de Sedimentos (Garde & Ranga Raju, 1985); Resultados; Conclusões e Recomendações.

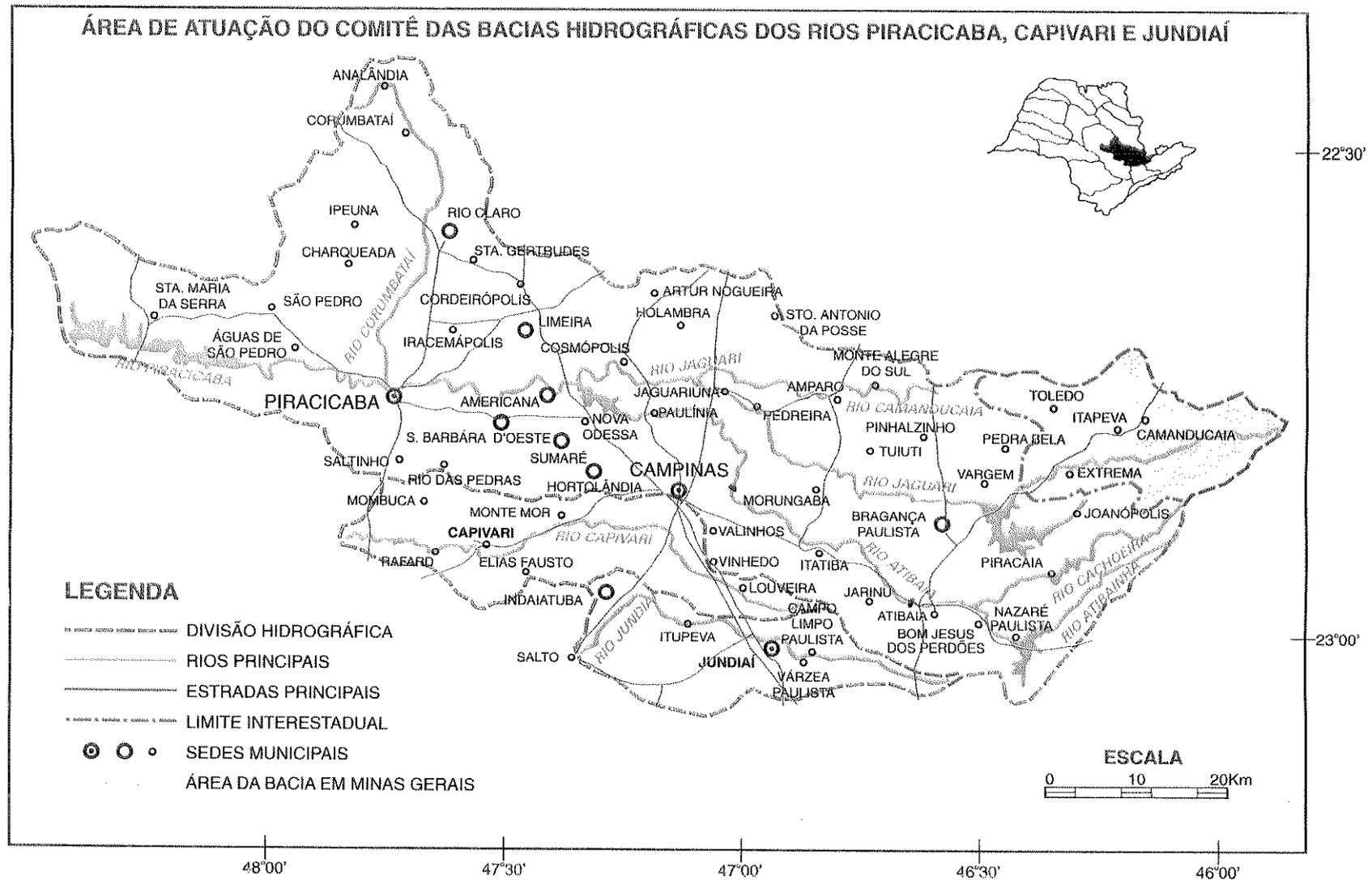


Figura 1.1 – Bacia do piracicaba – Trecho em estudo – rio Atibaia
CBH – PCJ – Implantação, Resultados e Perspectivas (Jul/1996)

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O FENÔMENO DA EROÇÃO

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 a erosão acelerada.

A principal causa de depauperamento acelerado da terra é devido à erosão acelerada, que é provocada, principalmente, pelas ações antrópicas, cujas graves conseqüências, destacam-se as principais:

- 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.

2.2 - PROCESSOS DE EROÇÃO: 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.

2.2.1 - Vento: Erosão Eólica

O processo de erosão eólica consiste na desagregação e remoção de fragmentos e partículas de solo e rocha pela ação combinada do vento e gravidade. Em rochas, o vento por si só não produz erosão; é o impacto das partículas sólidas existentes no ar e carregadas pelo vento que provoca o desgaste. Em solos, onde as partículas são desagregadas por diversos agentes, o vento atua como veículo de transporte, agindo no sentido de colocá-las em suspensão. Este processo é intensificado por atividades modificadoras do ambiente, quando estas desprotegem superfícies de solos e outros materiais desagregáveis à ação do vento (Fornasari et alii, 1992).

2.2.2 - Gelo: Erosão Glacial

O gelo provoca erosão das rochas de maneira, em muitos aspectos similares à erosão por água corrente. Ambos podem exercer grande força contra um obstáculo e quebrá-lo em peças. Ambos carregam fragmentos de rochas como instrumentos de abrasão da superfície das rochas por onde passam.

A água possui as vantagens da maior velocidade de fluxo e maior turbulência. O gelo, contudo, possui as vantagens da maior rigidez e habilidade de fundir-se e regelar-se durante a passagem por um obstáculo.

As feições mais distintivas da erosão e transporte glaciais são as arranhaduras e sulcos traçados na superfície de rochas e as superfícies facetadas, polidas, dos fragmentos rochosos transportados pelo gelo. (Bloom, 1970).

2.2.3 - Gravidade: Movimentos do Regolito

Quando o material rochoso se move encosta abaixo sob influência da gravidade, mas sem agente de transporte, como: vento, água em movimento ou gelo, o processo é denominado de movimentos do regolito (Quadro 2.1).

2.2.4 - Água em Movimento: Erosão Fluvial, Marinha e Hídrica

2.2.4.1 - 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.

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.

A carga de sedimentos intemperizados são carregados pelos rios de três maneiras diferentes:

- Carga de sedimentos em suspensão: representada pelas partículas de silte e argila que se conservam em suspensão no fluxo de água;
- Carga do leito do rio: representada pelas partículas de areia, cascalho ou fragmentos de rocha que rolam, deslizam ou saltam ao longo do leito;
- Carga dissolvida: representada pelos constituintes intemperizados das rochas que são transportados em solução química no fluxo de água.

Quadro 2.1 - Classificação dos Movimentos do Regolito (Bloom, 1970)

Natureza e Velocidade do Movimento		Transporte Glacial	Natureza e Velocidade do Movimento	Rocha ou Solo	Com progressivo aumento do conteúdo de água	Transporte Fluvial
Fluxo	Imperceptível		Solifluxão	Rastejamento (rocha ou solo)	← →	
	Lenta ou Rápida	Avalancha de Detritos	Fluxo de Terra Fluxo de Lama Avalancha de Detritos			
Deslizes	Lenta ou Rápida		Desmoronamentos Deslizes de detritos Queda de Detritos Deslizes de Rochas Quedas de Rochas			

2.2.4.2 - Marés: Erosão Marinha

Os rios depositam suas cargas de leito, suspensão e dissolvida como lâminas sobre a água oceânica que é mais densa. Assim, um novo grupo de agentes passa a assumir as tarefas de erosão, transporte e deposição de sedimentos (Bloom, 1970). São as ondas que despendem sua energia cinética contra a borda da terra, que executam a maior parte do trabalho, secundariamente, as marés atuando como única forma de acréscimo de energia, colabora neste processo erosivo modelando as bordas costeiras (Figura 2.1).

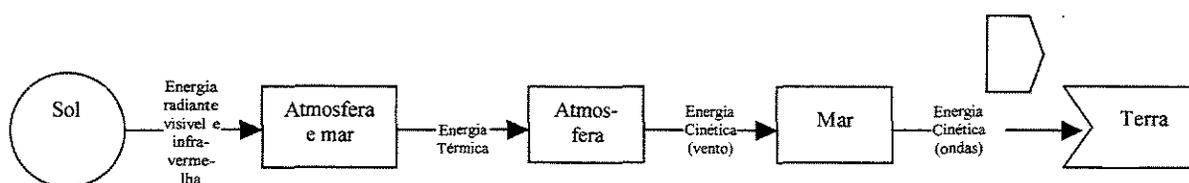


Figura 2.1 - Esquema da cadeia energética do sol ao cabeço rochoso fragmentado pelas ondas (Bloom, 1970)

2.2.4.3 - 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 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 salpimento 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.

2.3 – 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, a 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).

2.3.1 - 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 m³, 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 sedimentos da massa do solo, embora a espessura média do solo perdida a cada ano possa ser, por conseguinte, pequena, quanto ser despercebida.

2.3.2 - 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 elevadas podem, apreciavelmente, redartar 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/km² em áreas muito úmidas onde o total de escoamento é 1.000 mm/ano (Meyer & Mutchler, 1993).

2.3.3 - 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.

2.3.4 - 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, geralmente, afetam a erosão por concentração do escoamento superficial muito mais do que faz o impacto das gotas de chuva. A quantia 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, havendo concentração do escoamento superficial.

2.3.5 - 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.

2.3.6 - Práticas Conservacionistas

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 as forças erosivas da chuva ou do escoamento superficial, reduzindo o escoamento por aumento da infiltração e ou controlando o escoamento para reduzir o 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).

2.4 - 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.

2.4.1 - 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).

2.4.1.1 - 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 2.2.

Quadro 2.2 - Tamanhos e denominações das partículas de sedimentos, Garde & Ranga Raju (1985)

Tamanho (mm)	Denominação	Tamanho (mm)	Denominação
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

2.4.1.2 - 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.

2.4.1.3 - 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.

2.4.1.4 - Composição Mineral

As rochas são, em geral, 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 e no Quadro 2.3 encontram-se valores de pesos específicos de alguns minerais.

Quadro 2.3 - Valores de pesos específicos de alguns minerais
Modificado de Garde & Ranga Raju (1985)

Mineral	Peso específico (t/m^3)
Quartzo	2,65
Feldspato – K	2,54 – 2,57
Feldspato – Na – Ca	2,62 – 2,76
Calcita	2,72
Caolinita	2,61
Granada	3,20 (variável)
Hornblenda	3,20 (variável)
Turmalina	3,50 – 4,30
Magnetita	5,20

2.4.1.5 – 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 2.2).

2.4.1.6 – Orientação

Existem dois tipos de orientações que devem ser consideradas no caso das

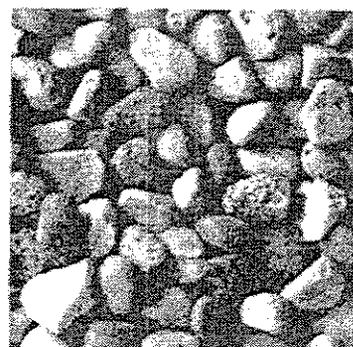
partículas de sedimentos – orientação da partícula enquanto está caindo num fluido (orientação instântanea) e a orientação da partícula depois de estar depositada sobre o leito (orientação de construção). Ambas as orientações dependem principalmente da forma da partícula de sedimento, sendo consideradas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



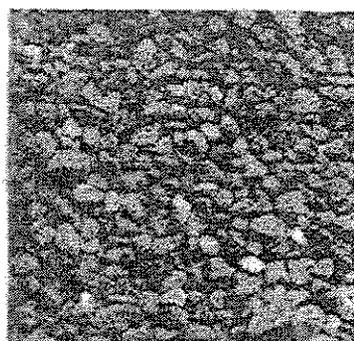
Cascalho limpo
Textura: muito grossa



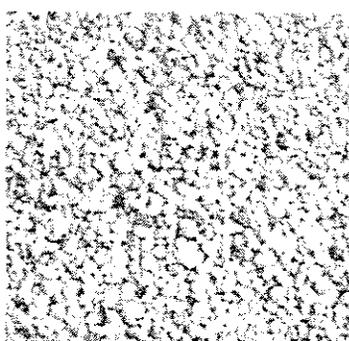
Cascalho médio
Textura: grossa



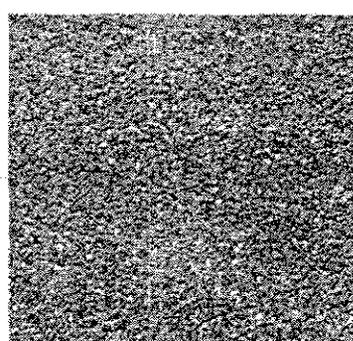
Cascalho pequeno
Textura: grossa



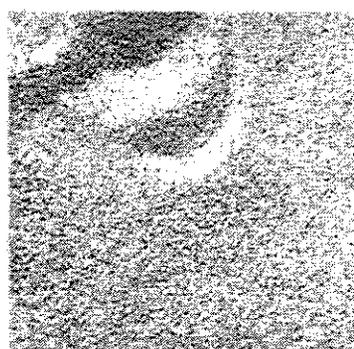
Areia muito grossa
Textura: média grossa



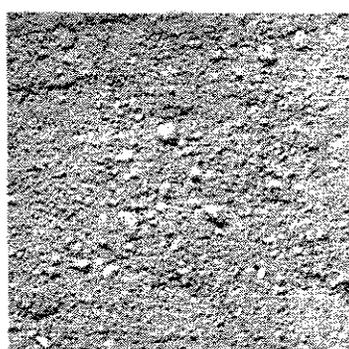
Areia grossa
Textura: média



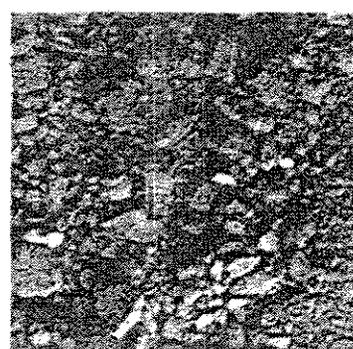
Areia média para fina
Textura: média fina



Areia fina
Textura: fina



Argila pulverizada
Textura: fina



Torrão de argila
Textura: grossa

Figura 2.2 – Textura das partículas que compõem os solos (Bowles, 1984)

2.4.2 - 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 dos sedimentos, porosidade, peso específico e ângulo de repouso (Garde & Ranga Raju, 1985).

2.4.2.1 - 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 16mm, 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 método de sedimentação contínua de partículas na água, baseado na Lei de Stokes.

2.4.2.2 - 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. No Quadro 2.4 encontram-se as relações entre porosidade efetiva e tamanho da partícula para alguns materiais.

Quadro 2.4 - Relação entre porosidade efetiva e tamanho da partícula
(Garde & Ranga Raju, 1985)

Tamanho ou classe do material	Porosidade (%)
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.

2.4.2.3 - 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, tamanho e tempo do material depositado. Baseado nos estudos de Hembree, Colby, Swenson, Davis e Happ (Garde & Ranga Raju, 1985), o Quadro 2.5 sugere valores de pesos específicos para vários tamanhos de sedimentos.

Quadro 2.5 - Relação de peso específico e tamanho do sedimento
(Modificado de Garde & Ranga Raju, 1985)

Tamanho médio (mm)	0,0012	0,005	0,01	0,05	0,10	0,25	0,50	1,00
Peso específico (t/m³)	0,769	0,962	1,042	1,186	1,282	1,426	1,667	1,923

2.4.2.4 - 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 2.6). O ângulo de repouso varia desde 90° para leito rochoso até menos de 10° para solos não coesivos - Figura 2.3.

Quadro 2.6 – Valores do ângulo de repouso, Simons (Garde & Ranga Raju, 1985)

Diâmetro Médio da Partícula (pol.)	Ângulo de repouso (grau)		
	Brita ou rocha com saliência	Muito angular	Muito arredondada
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

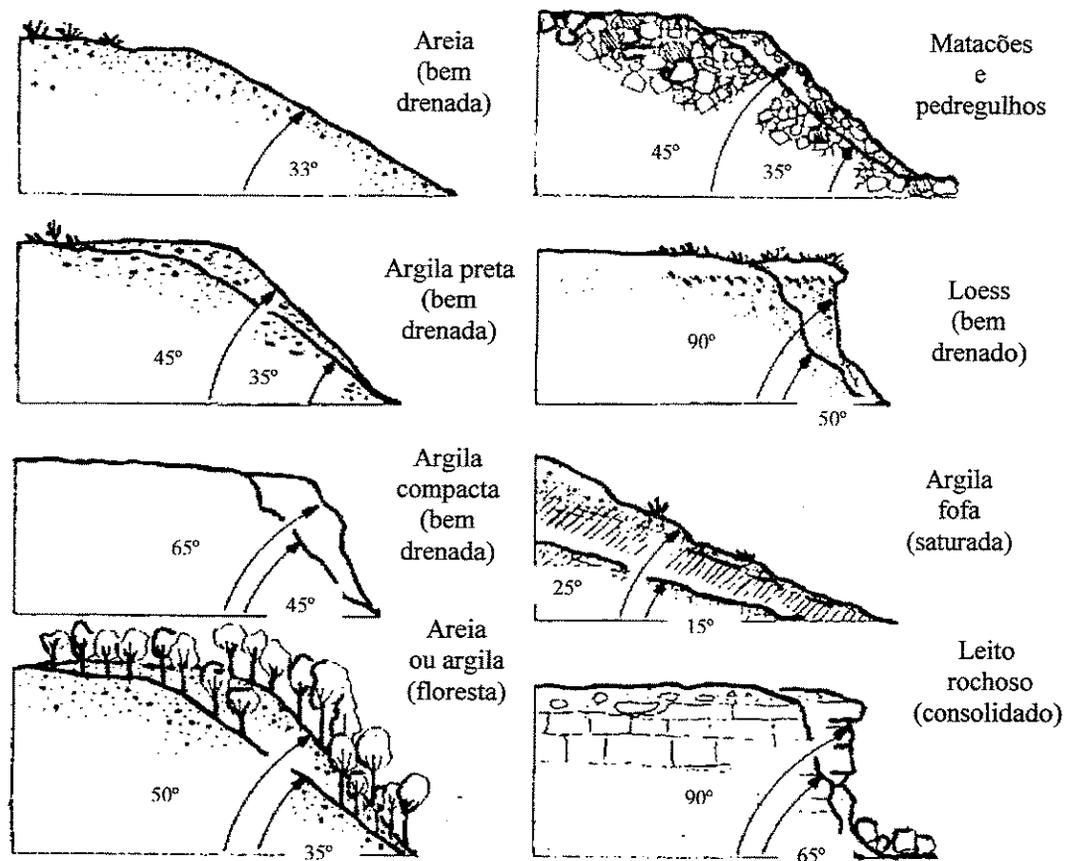


Figura 2.3 - Ângulos de repouso para vários tipos de solos (Marsh, 1991)

2.4.3 - 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 e duração da chuva, temperatura;
- Tipo de prática conservacionista;
- Granulometria, textura e quantidade do material erodível.

Situações diversas, que poderão ocorrer, nas marchas dos sedimentos, tais como:

- 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.

2.4.4 - Equações Propostas para Quantificar os Sedimentos

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).

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. (Garde & Ranga Raju, 1985).

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 km²;

S = declividade média da bacia;

P = precipitação média anual em cm;

Q = escoamento médio anual em Mm³;

D_d = densidade de drenagem, definido: comprimento total do canal / área da bacia, em km⁻¹;

Fc = fator erodibilidade.

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:

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

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

$$VSA = 2,41 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,154} \cdot P^{1,071} \cdot S^{0,06} \cdot Fc^{1,893} \quad (3)$$

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

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 2.7.

Quadro 2.7 - Valores do Fator Erodibilidade (Fc), segundo Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985)

Tipo de vegetação	Fc
Floresta conservada	0,20
Floresta sem conservação	0,40
Área cultivada	0,60
Pasto e arbustos	0,80
Área devastada	1,00

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

$$VS = 3,23 \cdot 10^{-3} \cdot A^{0,72} \quad (5)$$

onde:

VS = volume aparente em Mm³;

A = área da bacia em km².

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

$$VS = 2,33 \cdot 10^{-4} \cdot S^a \cdot L^b \cdot A \quad (6)$$

onde:

VS = volume aparente em Mm³;

S = declividade da bacia;

L = comprimento do talvegue da bacia em km;

A = área da bacia em km²;

a e b = constantes, que variam entre 0,4 a 1,9 e 0,6 a 1,0, respectivamente.

2.5 - 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 (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 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 (7) 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):

$$E = F (R/100) \cdot (S/10)^{1,35} \cdot (L/72,6)^{0,35} \cdot (P_{30}/1,25)^{1,75} \quad (7)$$

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_{30} = chuva. O total utilizado é a intensidade máxima da chuva em 30 min, esperada numa localidade, com frequência de 2 anos, em polegadas (frequência 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 acrescentados 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.

2.5.1 - Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a Equação de Perda de Solo é dada por:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (8)$$

onde:

A= perda de solo média anual (t / ha);

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

K= fator erodibilidade do solo ($\text{t} \cdot \text{h} / \text{MJ} \cdot \text{h}$);

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).

A Figura 2.4, a seguir, ilustra o diagrama da Equação Universal de Perda de Solo, modificado de Costa (1988).



Figura 2.4 – Diagrama da Equação Universal de Perda de Solo
(Modificado de Costa, 1988)

2.5.2 - Análise dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

2.5.2.1 - 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.

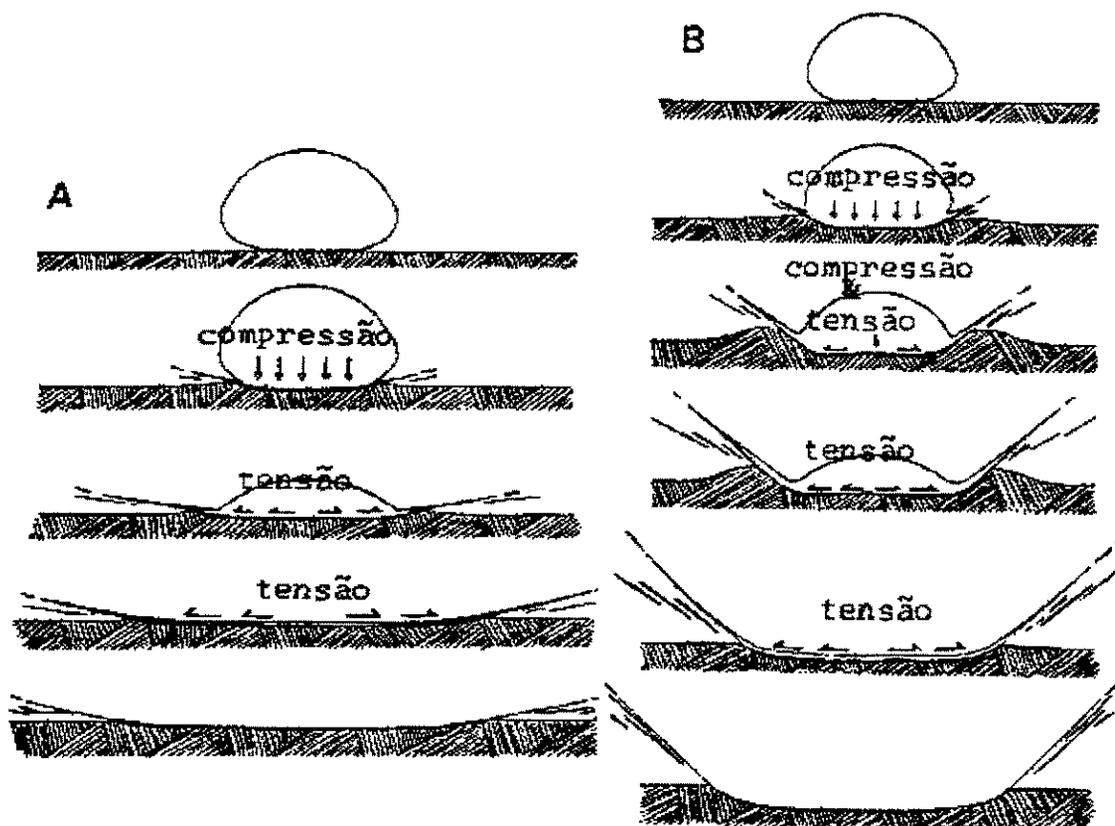


Figura 2.5 - Esquema do mecanismo de impacto da gota d'água em planos de: A) alta e, B) baixa resistência (Nearing, 1993)

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. 2.5). 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:

$$E \cdot I = 67,355 \cdot (r^2 / p)^{0,85} \quad (9)$$

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 ($E \cdot I$), de um local utilizando somente totais de precipitações de chuva, os quais são únicos

dados disponíveis para muitos locais.

Lombardi et alii (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), utilizando a equação desenvolvida (9), estabeleceram os valores de $E \cdot I_{30}$ para 115 locais previamente escolhidos no Estado de São Paulo.

A Figura 2.6 ilustra o Mapa de Isoerodentes - linhas que ligam pontos de iguais potenciais de erosão - para o Estado de São Paulo, linhas essas que representam os valores médios anuais de erosividade da chuva - fator chuva (R) da Equação Universal de Perda de Solo (os valores entre as linhas podem ser interpolados linearmente).

Os dados de chuva sumarizados para desenvolver o Mapa de Isoerodentes, foram também analisados para diferentes lugares quanto à distribuição do potencial de erosão durante o ano. As porcentagens mensais do total anual do $E \cdot I$ para um local foram comparadas com dados similares dos adjacentes. Assim, locais que não apresentavam diferenças na porcentagem de distribuição foram combinados e os valores médios das porcentagens estabelecidos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Deste modo, foram separadas, para o Estado de São Paulo, 14 áreas relativamente homogêneas onde a distribuição do potencial de erosão anual pela chuva - fator chuva (R), mostrou-se uniforme (Figura 2.7).

2.5.2.2 - 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.

Através da Figura 2.8 - Nomograma de erodibilidade do solo (Wischmeier & Smith, 1978), pode-se obter o valor da erodibilidade que combina o efeito das seguintes propriedades do solo: porcentagem de silte mais porcentagem de areia muito fina; porcentagem de matéria orgânica; porcentagem de areia entre 0,1 a 2 mm; tipo de estrutura e grau de permeabilidade.



Figura 2.6 – Valores Médios Anuais do Índice de Erosão da Chuva do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto Modificado, 1990)

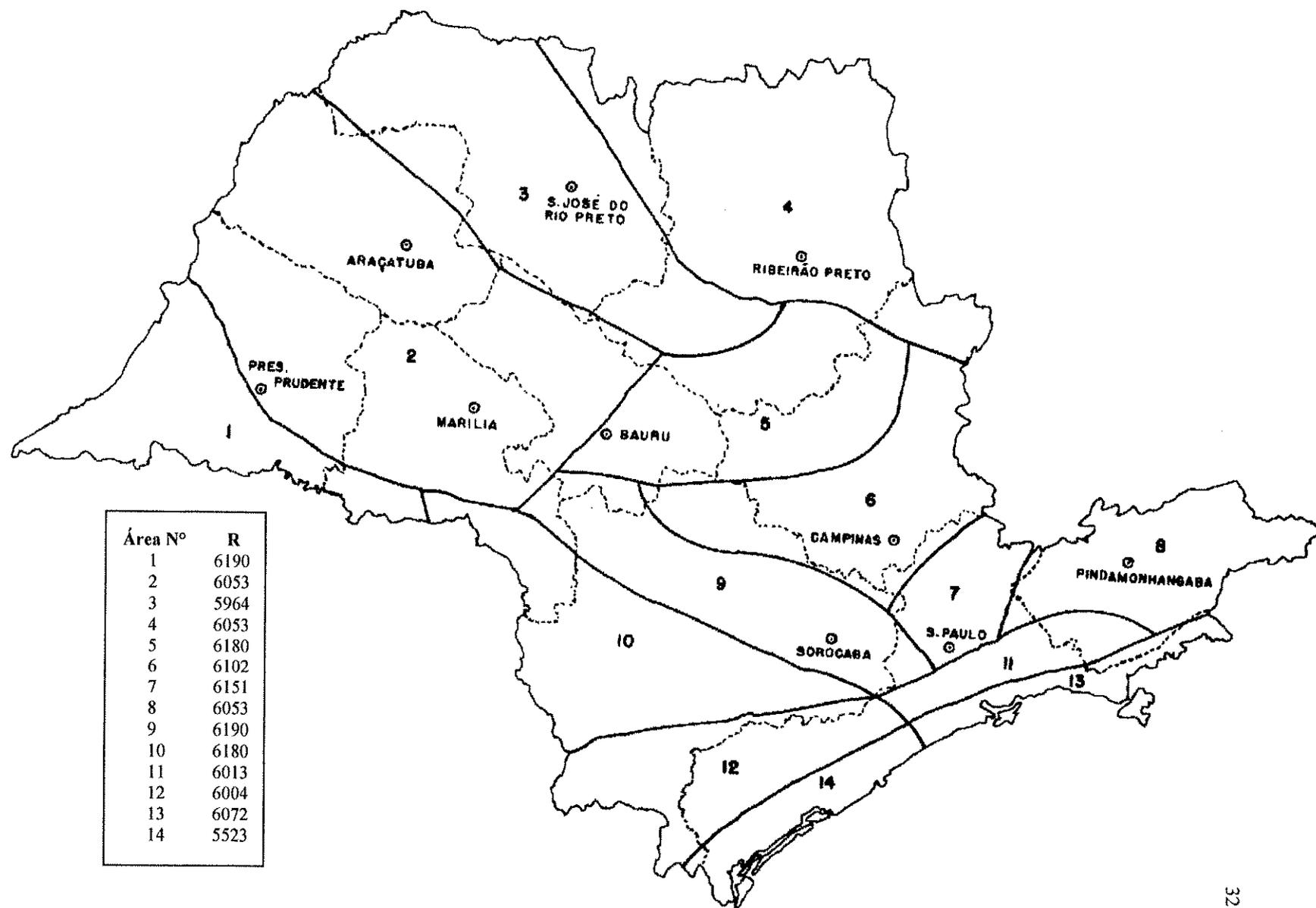


Figura 2.7 – Distribuição do Potencial de Erosão das Chuvas do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

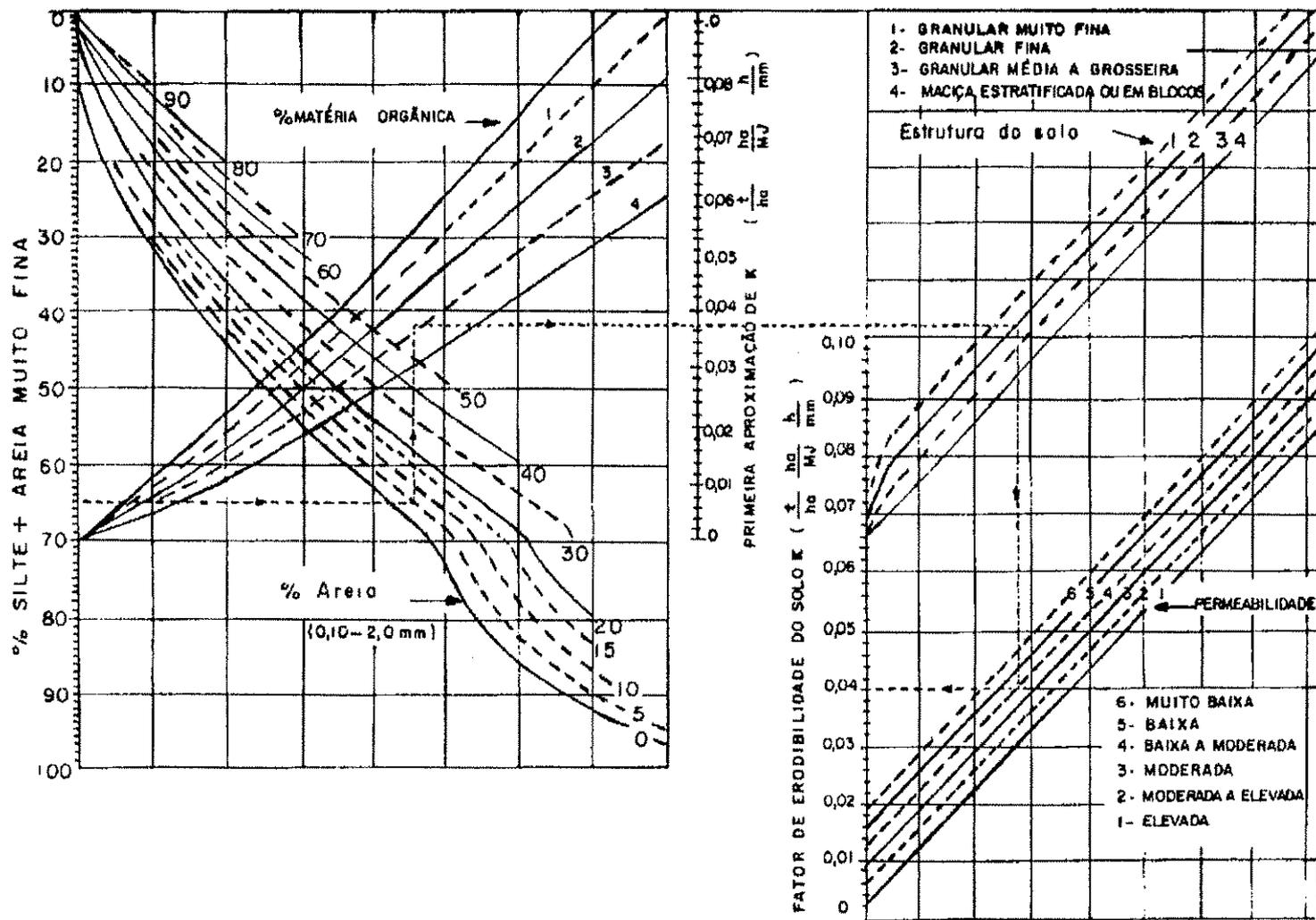


Figura 2.8 – Nomograma de Erodibilidade do Solo (Wischmeier & Smith, 1978)

O método do Nomograma de erodibilidade do solo não é adequado para solos ricos em óxidos de ferro, como os oxisóis argilosos e alguns alfisóis (Figueiredo, 1993).

Bertoni & Lombardi Neto (1990), estudaram 66 perfis de solo para dois agrupamentos de solos que ocorrem no Estado de São Paulo, e os analisaram de acordo com o método de Middleton, com algumas modificações. Os autores consideraram os valores obtidos com uma estimativa do fator erodibilidade (K) do solo, conforme os dados apresentados no Quadro 2.8 para os principais solos paulistas. Verifica-se, por esses dados, o comportamento dos solos **B** Textural e **B** Latossólico, com relação à erosão tanto nos horizontes superficiais como nos sub-superficiais, de maneira geral, que os solos podzolizados são mais suscetíveis à erosão.

Com base no estudo de 75 perfis de solo, o Quadro 2.9 apresenta os limites de tolerância de perdas por erosão para algumas unidades de solos do Estado de São Paulo. Os valores de tolerância média de perdas de solo variaram de 4,5 à 13,4 t/ha/ano e de 9,6 à 15,0 t/ha/ano, respectivamente para solos com **B** Textural e com **B** Latossólico.

A Figura 2.9 ilustra parte da Carta dos Solos do Estado de São Paulo (Contribuição à Carta de Solos do Brasil, 1960), onde se encontram os seguintes agrupamentos de solos, segundo o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo (Boletim 12):

- Solos com **B** Textural: são bem drenados sem influência de salinização. Quando completos, apresentam seqüência de horizontes **A**, **B** e **C**. A transição entre os horizontes **A** e **B** normalmente é clara ou abrupta, podendo também apresentar-se gradual. A topografia do horizonte é em geral plana ou ondulada a transição entre **B** e **C** é gradual ou clara, sendo, mas raramente, difusa. O horizonte **B** é o mais importante sob o ponto de vista de classificação, onde a fração de argila é sempre menor que 15% e argila natural é relativamente alta, com exceção da Terra Roxa Estruturada.
- Solos com **B** Latossólico: quando completos apresentam perfil **A**, **B** e **C**. A transição entre os horizontes **A** e **B** é normalmente difusa ou gradual, podendo ser clara ou abrupta se um subhorizonte **Ap** está presente. A diferenciação entre o **A** e o **B** normalmente não é muito nítida devido à presença de subhorizontes de transição **A3** e **B1**. A transição entre o **B** e **C** pode ser difusa, gradual ou clara. A fração de argila é sempre superior a 15%, mas o conteúdo de argila natural é normalmente baixo.

- Solos Hidromórficos: são os intrazonais em que as características zonais não se desenvolveram em virtude da grande influência da água no solo, condicionada principalmente pelo relevo. Estes solos têm sempre características associadas com encharcamentos, que pode determinar uma acumulação de matéria orgânica ou um fenômeno de redução acusado este pela sua cor característica, compreendendo respectivamente Solos Orgânicos e Solos mais Minerais.
- Solos Pouco Desenvolvidos: é constituído por solos azonais que apresentam, como principal característica, o pequeno desenvolvimento do perfil. São solos com seqüência de horizontes **AC** ou **AD** não apresentando, normalmente o **B**. Quando este acha-se presente no perfil, é pouco desenvolvido, com menos de 10 cm de espessura, quando apresentando espessuras maiores possui menos de 15% de argila.

Quadro 2.8 - Relação de erosão dos horizontes superficiais e subsuperficiais para várias unidades de dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo
(Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Solo	Relação de erosão horizonte	
	Superf.	Subsuperf.
COM B TEXTURAL		
Podzolizados com cascalho	0,54	0,26
Podzolizados Lins e Marília, variação Marília	0,48	0,23
Podzólico vermelho – amarelo, variação Laras	0,42	0,45
Podzolizados Lins e Marília, variação Lins	0,34	0,23
Podzólico vermelho – amarelo, orto	0,33	0,18
Podzólico vermelho – amarelo , variação Piracicaba	0,27	0,19
Mediterrâneo vermelho – amarelo	0,23	0,21
Terra roxa estruturada	0,18	0,11
COM B LATOSSÓLICO		
Latossolo vermelho – amarelo, orto	0,22	0,09
Latossolo vermelho – escuro, fase arenosa	0,17	0,12
Latossolo vermelho – amarelo, fase rasa	0,17	0,22
Latossolo vermelho – escuro, orto	0,15	0,05
Solos de Campos do Jordão	0,15	0,13
Latossolo vermelho – amarelo, fase arenosa	0,13	0,07
Latossolo vermelho – amarelo, fase terraço	0,12	0,03
Latossolo roxo	0,12	0,04
Latossolo vermelho – amarelo, húmico	0,11	0,04

Quadro 2.9 - Limites de tolerâncias de perdas por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Solo	Tolerâncias de perdas de solo	
	Amplitudes Observadas	Média pond. em relação à profundidade
COM B TEXTURAL	t/ha	t/ha
Podzólico vermelho – amarelo, orto	5,2 a 7,6	6,6
Podzólico vermelho – amarelo, variação Piracicaba	3,4 a 11,2	7,9
Podzólico vermelho – amarelo, variação Laras	6,9 a 13,4	9,1
Podzólico com cascalho	2,1 a 6,6	5,7
Podzolizado Lins e Marília, variação Lins	3,8 a 5,5	4,5
Podzolizado Lins e Marília, variação Marília	3,0 a 8,0	6,0
Mediterrâneo vermelho – amarelo	9,8 a 12,9	12,1
Terra roxa estruturada	11,6 a 13,6	13,4
COM B LATOSSÓLICO		
Latossolo roxo	10,9 a 12,5	12,0
Latossolo vermelho – escuro, orto	11,5 a 13,3	12,3
Latossolo vermelho – escuro, fase arenosa	13,4 a 15,7	15,0
Latossolo vermelho – amarelo, orto	12,5 a 12,8	12,6
Latossolo vermelho – amarelo, fase rasa	4,3 a 12,1	9,8
Latossolo vermelho – amarelo, fase arenosa	13,6 a 15,3	14,2
Latossolo vermelho – amarelo, fase terraço	11,1 a 14,0	12,6
Latossolo vermelho – amarelo, húmico	10,9 a 11,5	11,2
Solos Campos do Jordão	4,6 a 11,3	9,6
SOLOS POUCO DESENVOLVIDOS		
Litossolo	1,9 a 7,3	4,2
Regossolo	9,7 a 16,5	14,0

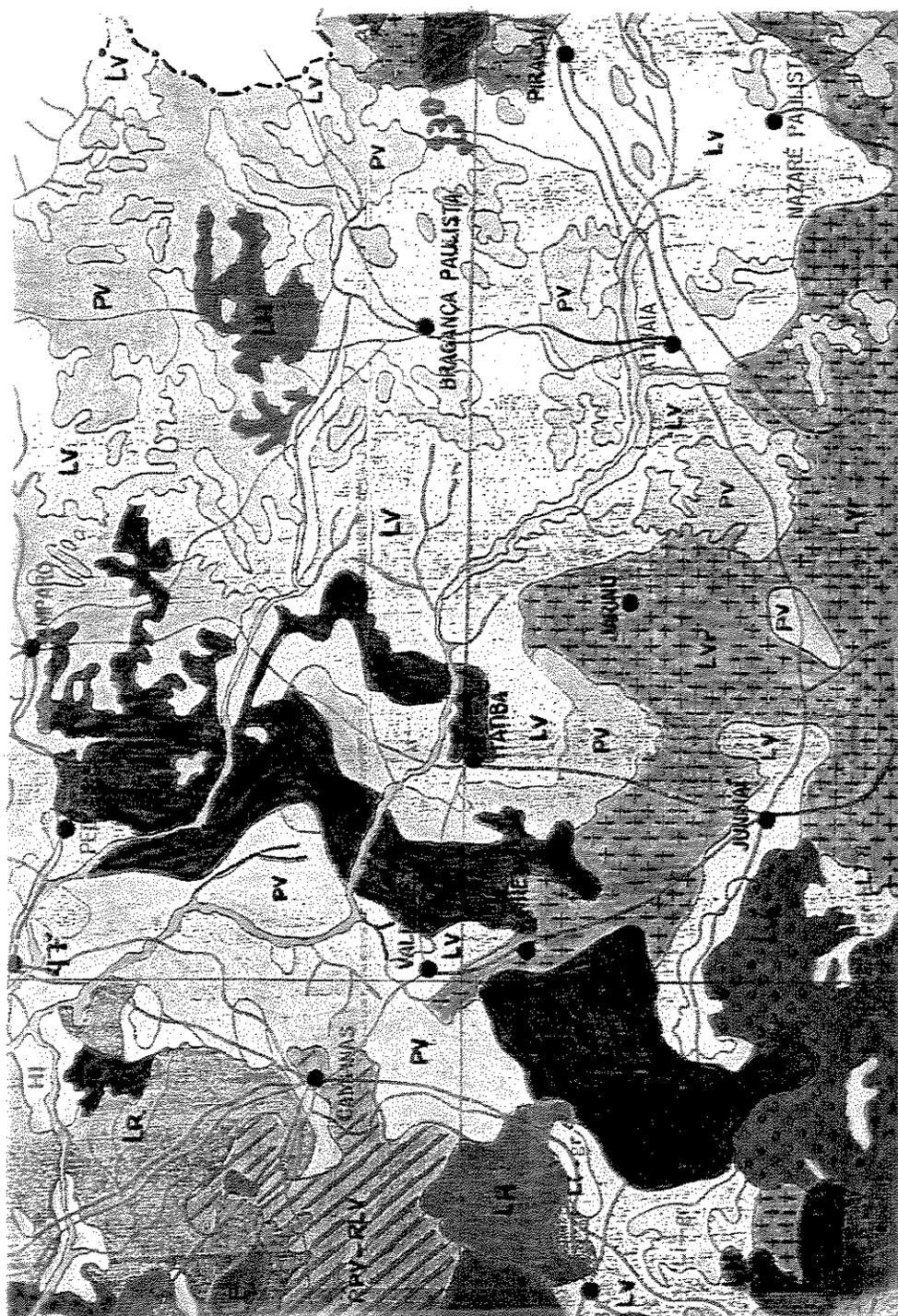


Figura 2.9 – Parte da Carta de Solos do Estado de São Paulo
(Contribuição à Carta de Solos do Brasil, 1960 - Escala 1:500.000)

Legenda da Figura 2.9

Solos com B Textural

-  Pc-Solos Podzolizados com cascalho
-  PV-Podzólico vermelho - amarelo orto
-  PVls-Podzólico vermelho - amarelo variação Laras

Solos com B Latossólico

-  LE-Latossolo vermelho - escuro orto
-  LH-Latossolo vermelho - amarelo húmico
-  LR-Latossolo roxo
-  LV-Latossolo vermelho - amarelo orto
-  LVP-Latossolo vermelho-amarelo "intergrade" para podzólico vermelho - amarelo
-  LVr-Latossolo vermelho - amarelo fase rasa
-  LVt-Latossolo vermelho - amarelo fase terraço

Solos Hidromórficos

-  Hi-Solos hidromórficos

Solos pouco Desenvolvidos

-  Li-gr-Litossolo - fase substrato granito - gnaisse
-  Li-gr+Li-fi-Litossolo - fase substrato granito - gnaisse e Litossolo - fase substrato filito - xisto
-  RPV-RLV-Regossolo "intergrade" para Latossolo vermelho - amarelo grupo indiscriminado "intergrade" para podzólico vermelho - amarelo
- -Sede de Município
- . - -Limite interestadual
-  -Cursos d'água

2.5.2.3 - Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS)

O comprimento da vertente e seu respectivo declive influem, 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:

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (10)$$

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.

2.5.2.4 - 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 se podem aplicar ao solo. Para fins práticos Bertoni & Lombardi Neto (1990) dividiram o ano agrícola em cinco períodos de desenvolvimento das culturas, definidos de tal modo que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados, aproximadamente, uniformes dentro de cada período:

- Do preparo ao plantio;
- Do plantio até o primeiro mês;
- De um mês a dois meses após o plantio;
- De dois meses até a colheita;
- Da colheita ao preparo do solo.

O Quadro 2.10 fornece os valores do Fator C, segundo Marsh (1991).

Quadro 2.10 – 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
	100%	.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

2.5.2.5 - 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 o plantio em contorno ou o cultivo em curvas de nível, o plantio em faixas e o terraceamento.

2.5.3 - Considerações sobre a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

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, 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 a erosividade da 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 FLUVIOSEDIMÉTRICAS NA SEÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO DO RIO ATIBAIA

3.1.1 - Introdução

Para este trabalho 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.

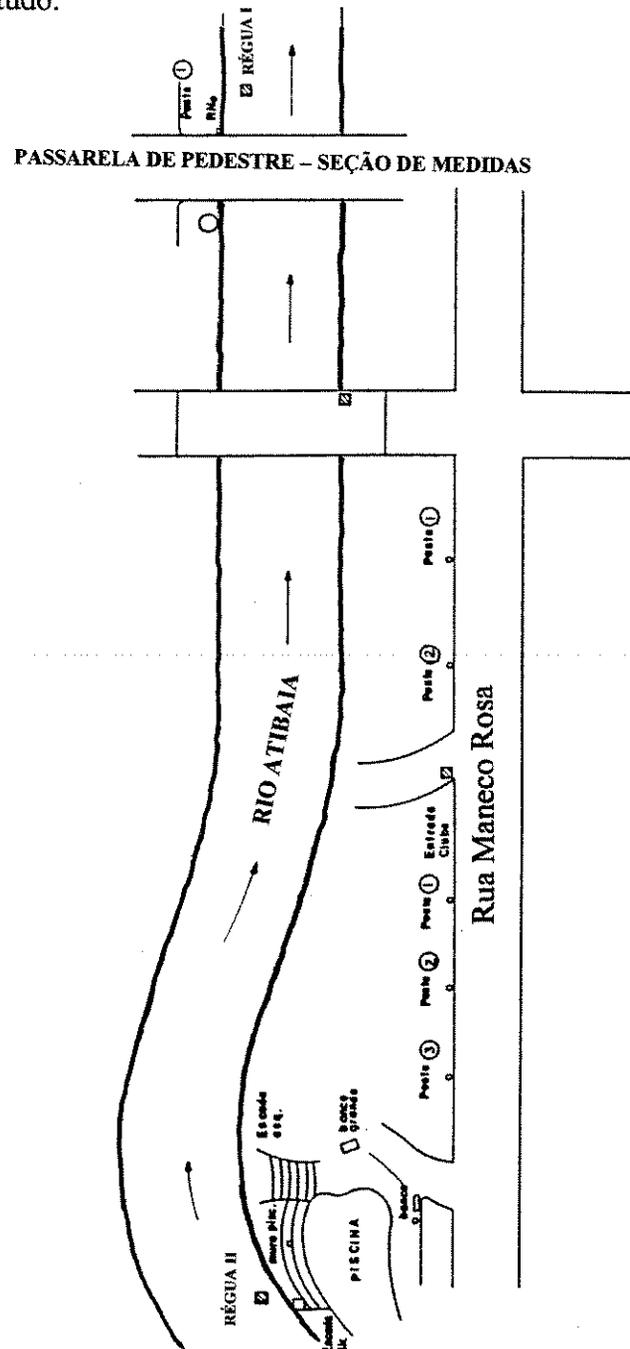


Figura 3.1 – Croqui com as posições das réguas linimétricas e a seção de medidas.

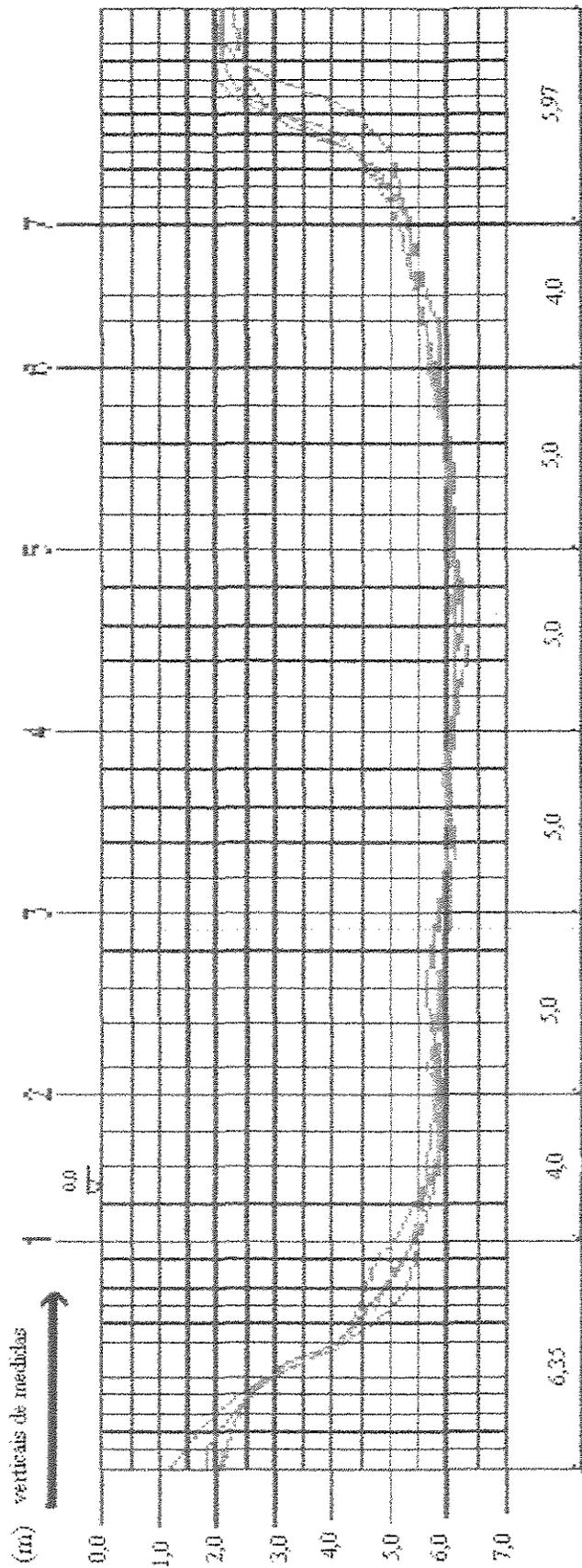


Figura 3.2 - Seção de medidas - no Anbaia - Distrito de Sousa/Campinas/SP

O cálculo da vazão é dada por:

$$Q = \sum_{i=1}^n \overline{V_i} \cdot \overline{Y_{mi}} \cdot l_i \quad (10)$$

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. 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 amostrado 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 feito através da fórmula:

$$Q_{sa} = \frac{\sum g_{sai} \cdot l_i}{0,085} \quad (\text{t/dia}) \quad (11)$$

onde:

l_i = faixa de influência da medição em m;

g_{sai} = descarga sólida em peso seco que passa pela boca do aparelho, sendo,

$$g_{sai} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i \cdot P_s}{\Delta t_i} \quad (12)$$

onde:

P_s = peso do sólido seco coletado pelo aparelho num intervalo de tempo Δt_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).

Peso do sólido seco coletado (P_s)

O material sólido coletado pelo amostrador ARNHEM - BTMA foi colocado num cadim de peso conhecido (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 o peso (pca). A diferença (pca - pc) resulta o peso 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 o peso pca'. A diferença (pca' - pc) resulta o peso 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.

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:

$$g_{ssi} = C_i \cdot P_i \cdot Q \cdot 0,0864 \quad (13)$$

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 m³/s.

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

Determinação da concentração (C_i)

De cada amostra coletada pela garrafa amostradora; após a agitação da amostra para uma homogeneização perfeita, foram retiradas 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 filtração, 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 o peso (pf) em mg.

O microfiltro e os sólidos retidos na operação de filtração 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 o peso (pfa).

A diferença (pfa - pf) resulta o peso 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 o peso pfa'. A diferença (pfa' - pf) resulta o peso dos sólidos fixos existentes no volume filtrado (vf).

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

$$C_i = \frac{pfa - pf}{vf} \quad (14)$$

onde:

C_i = concentração dos sólidos totais em suspensão em ppm;

pfa = peso dos sólidos totais retidos pelo microfiltro em mg;

pf = peso do microfiltro em mg;

vf = volume da amostra filtrada em litros.

$$C_i' = \frac{pfa' - pf}{vf} \quad (15)$$

onde:

C_i' = concentração dos sólidos fixos em suspensão em ppm;

pfa' = peso dos sólidos fixos retidos pelo microfiltro em mg;

pf = peso do microfiltro em mg;

vf = volume da amostra filtrada em litros.

4 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS) E DAS EQUAÇÕES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS (GARDE & RANGA RAJU, 1985)

4.1 - DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM MÉDIA

Com o auxílio do planímetro obteve-se a área drenagem pertencente ao trecho em estudo, por meio da reprodução das cartas originais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística): Campinas - MI-2737-4, Valinhos - MI-2738-3, Bragança Paulista - MI-2738-4, Indaiatuba - MI-2766-2, Jundiaí - MI-2767-1, Atibaia - MI-2767-2, escala 1:50.000, referentes aos levantamentos aerofotogramétricos executados no Estado de São Paulo, anos 1965, 1978 e 1979 (Tabela 4.1).

4.2 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA DO RIO ATIBAIA - TRECHO EM ESTUDO

Com o auxílio do curvímeter obteve-se o comprimento do talvegue de cada trecho do rio Atibaia, localizado entre o Distrito de Sousas/Campinas/SP e a Barragem no Município de Atibaia /SP (Tabela 4.2). Em seguida, a declividade média foi determinada pelo Método do Triângulo de Área Equivalente (Figuras 4.1 e 4.2).

4.3 - DETERMINAÇÃO DA DECLIVIDADE MÉDIA DA ÁREA DE DRENAGEM

Com o auxílio das quadrículas das cartas temáticas determinou-se as cotas e declividade para cada ponto contido na área pertencente ao trecho em estudo, em seguida obteve-se a declividade média da área (Tabela 4.3).

Tabela 4.1 - Determinação da Área Média do Trecho em Estudo

Cartas:	MI 2766-2	MI 2737-4	MI 2738-4	MI 2738-3	MI 2767-1	MI 2767-2
	Leituras	Leituras	Leituras	Leituras	Leituras	Leituras
	21,00	107,30	496,60 2,10	788,50	460,60	1.072,70
	20,40	105,90	497,90 2,10	791,30	461,40	1.071,30
	20,70	105,90	496,00 1,80	791,30	460,50	1.068,70
	20,20	108,30	498,60 2,00	790,60	461,50	1.071,60
	21,00	106,20	497,20 2,10	789,30	459,10	1.071,40
	20,60	108,70	496,40 2,20	789,70	458,60	1.068,50
média	20,65	107,05	497,12 2,05	790,12	460,28	1.070,70
área (Km2)	5,1625	26,7625	124,2792 0,5125	197,5292	115,0708	267,6750

* coeficiente do planímetro para km² = 0,25

Área média total = 736,99 Km²

Tabela 4.2 - Determinação da declividade média do rio Atibaia no trecho em estudo

Ponto	Dist. pto (Km)	Acumulado (Km)	Cota (m)
1	-	-	639,00
2	2,25	2,25	640,00
3	5,00	7,25	660,00
4	5,25	12,50	680,00
5	28,85	41,35	700,00
6	13,50	54,85	720,00
7	17,00	71,85	750,00

n° área (Ai)	l acum. (Km)	h (m)	(h-639).l (Km.m)
0	0	639,00	-
1	2,00	639,90	1,80
2	4,00	647,00	16,00
3	6,00	655,00	32,00
4	8,00	662,75	47,50
5	10,00	671,50	65,00
6	12,00	678,00	78,00
7	14,00	681,00	84,00
8	16,00	682,50	87,00
9	18,00	683,90	89,80
10	20,00	685,20	92,40
11	22,00	686,50	95,00
12	24,00	688,00	98,00
13	26,00	689,30	100,60
14	28,00	690,75	103,50
15	30,00	692,00	106,00
16	32,00	693,50	109,00
17	34,00	695,00	112,00
18	36,00	696,25	114,50
19	38,00	697,60	117,20
20	40,00	699,00	120,00
21	42,00	701,00	124,00
22	44,00	704,00	130,00
23	46,00	707,00	136,00
24	48,00	709,80	141,60
25	50,00	712,70	147,40
26	52,00	715,60	153,20
27	54,00	718,50	159,00
28	56,00	722,00	166,00
29	58,00	725,50	173,00
30	60,00	729,00	180,00
31	62,00	732,50	187,00
32	64,00	736,00	194,00
33	66,00	739,50	201,00
34	68,00	743,20	208,40
35	70,00	746,70	215,40
36	71,85	750,00	222,00

Somatória Ai=
(Lt x Ht) /2
Ht= 122,69 m
St= Ht/Lt= 0,0017076 m/m

Somatória Ai= 4.407,30

Perfil Longitudinal do Rio no Trecho em Estudo

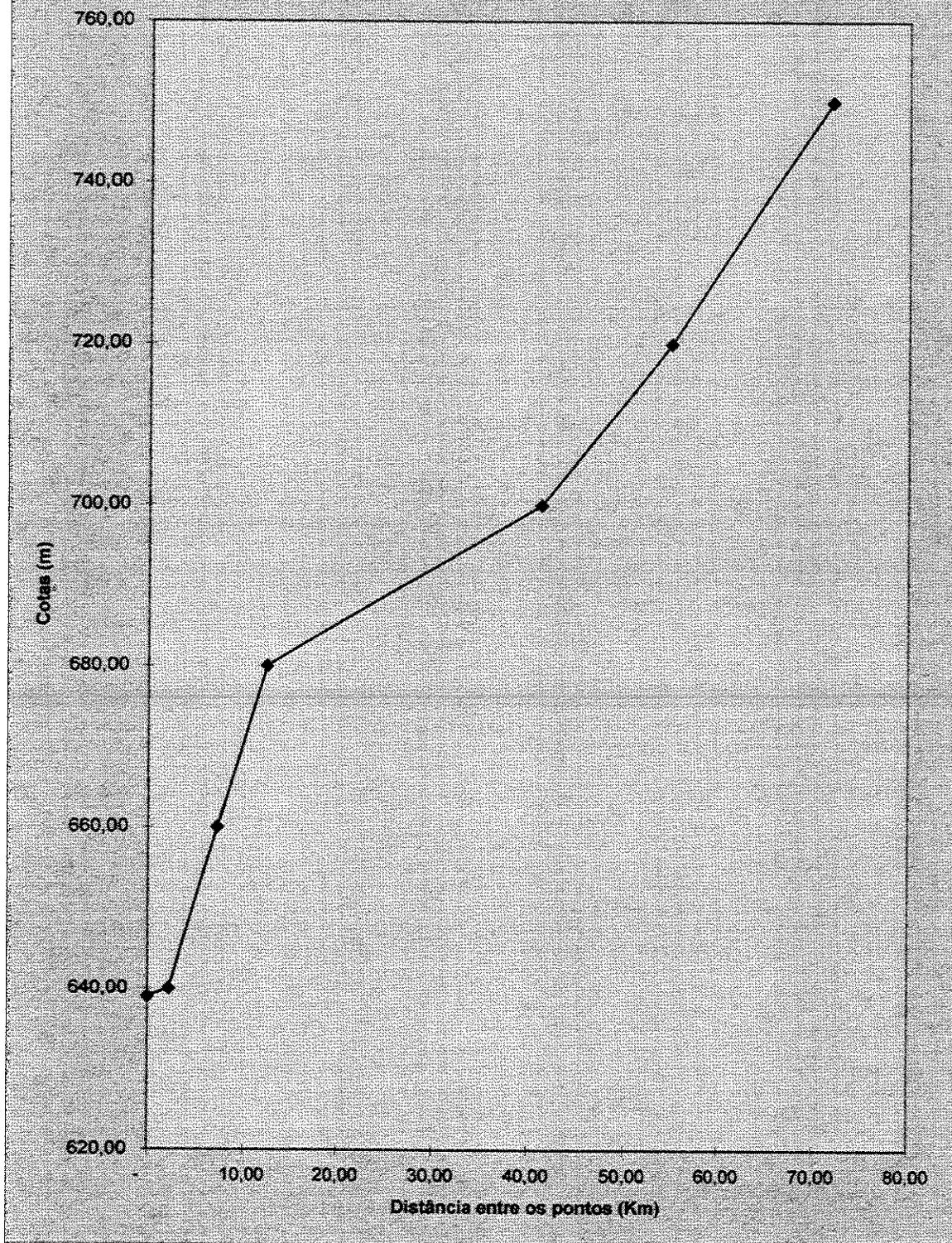


Figura 4.1

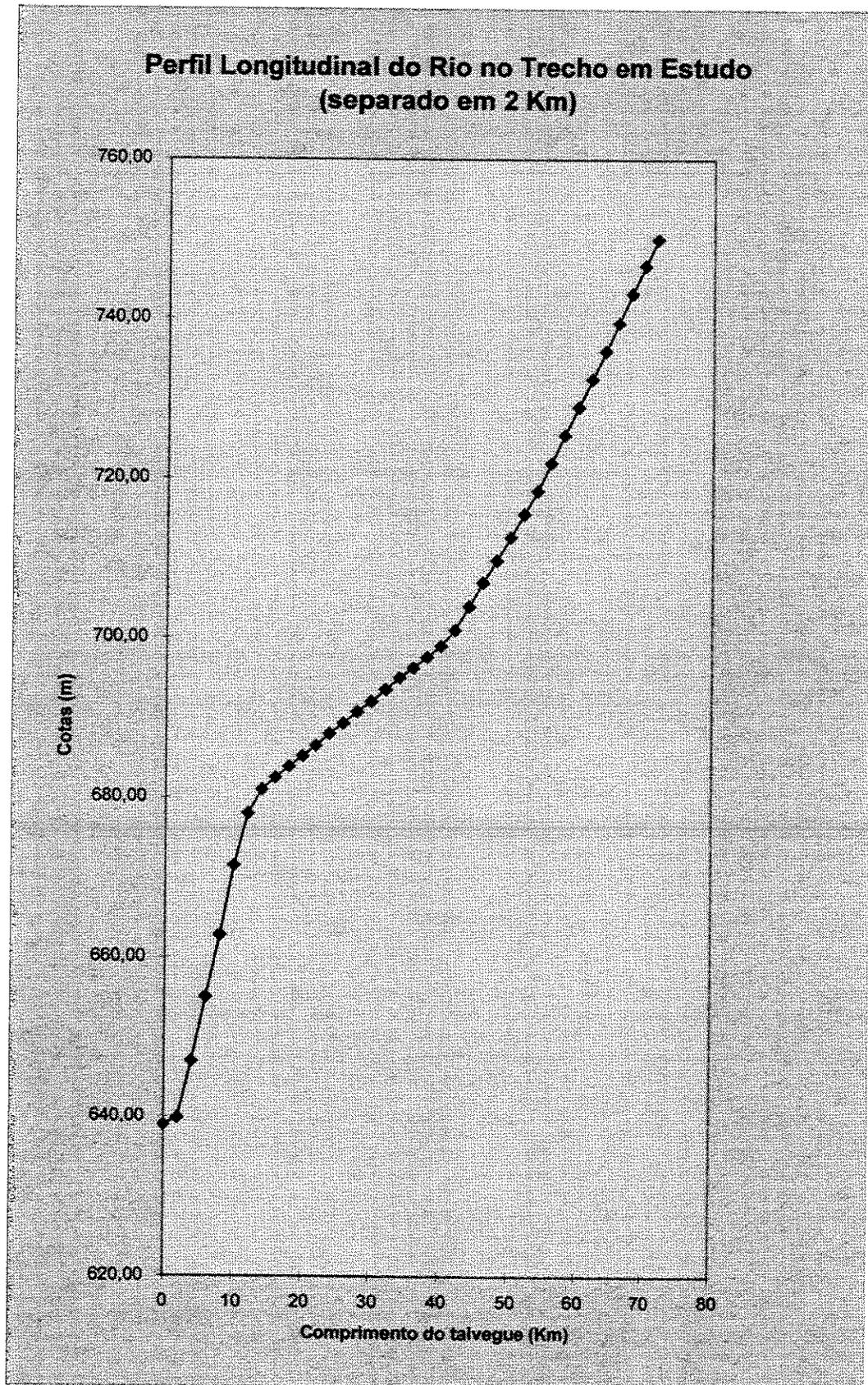


Figura 4.2

Tabela 4.3 - Determinação da declividade média
da área do trecho em estudo
rio Atibaia

Intervalos de declividade	nº de ocorrência da declividade (I)	declividade média (II)	(I x II)
0-0,002	-	-	-
0,002-0,004	34	0,003	0,102
0,004-0,006	81	0,005	0,405
0,006-0,008	52	0,007	0,364
0,008-0,010	29	0,009	0,261
0,010-0,012	11	0,011	0,121
0,012-0,014	11	0,013	0,143
0,014-0,016	6	0,015	0,090
0,016-0,018	4	0,017	0,068
0,018-0,020	4	0,019	0,076
0,020-0,022	2	0,021	0,042
0,022-0,024	2	0,023	0,046
0,024-0,026	2	0,025	0,050
0,026-0,028	2	0,027	0,054
0,028-0,030	2	0,029	0,058
0,030-0,032	3	0,031	0,093
0,032-0,034	1	0,033	0,033
Somatório (I)	246	Somatório (I x II)	2,006

$$S = \text{Somatório (I x II)} / \text{Somatório (I)} = 0,008154472 = 0,8150\%$$

4.4 - DETERMINAÇÃO DAS DESCARGAS LÍQUIDA, SÓLIDA DE FUNDO E EM SUSPENSÃO MÉDIAS NA SEÇÃO DE MEDIDAS

As descargas foram determinadas conforme está mencionado no Cap. 3 – Materiais e Métodos (Tabela 4.4), para as campanhas realizadas de 1993 a 1997.

4.5 - DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

Foram utilizados dados pluviométricos dos postos: D3-002 - Município de Campinas, E3-015 - Município de Itatiba, E3-074 - Município de Atibaia, E3-154 - Município de Jarinú e E3-247 - Município de Atibaia, período 1993 a 1997. (Tabela 4.5).

Sendo a precipitação média anual dada pela média aritmética dos dados, devido a área em estudo ser menor que 5.000 km² (Pinto et al, 1973) e a medida efetuada em cada aparelho individualmente variar pouco da média (Villela & Mattos, 1975).

4.6 - DETERMINAÇÃO DO FATOR ERODIBILIDADE

O fator de erodibilidade para aplicação nas equações propostas por Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985), será realizado em trabalho posterior (tese de doutorado). Neste trabalho para aplicação da EUPS, delineou-se um segmento de área no trecho em estudo do rio Atibaia, razoavelmente uniforme, onde a determinação dos parâmetros da EUPS constam a seguir:

4.6.1 - Determinação do Fator Chuva (R)

O segmento de área está localizado na área nº 6 da Figura 2.7, sendo o valor do fator R médio uniforme = 6.102 MJ/ha.mm/h. Através da Figura 2.6, obtemos o valor para o fator chuva R médio = 6.867 MJ/ha.mm/h.

4.6.2 - Determinação do Fator Erodibilidade do Solo (K)

O segmento de área possui o solo **B** Textural PV - Podzólico vermelho-amarelo orto (Figura 2.9). O Fator Erodibilidade para este tipo de solo é 0,33 (Quadro 2.8).

Tabela 4.4 – Determinação das Descargas Líquida, Sólida de Fundo e em Suspensão Médias

Período 1993/1997	Descarga Líquida (m ³ /s)		Descarga Sólida de Fundo (ton/dia)		Descarga Sólida em Suspensão (ton/dia)	
	Total	Média	Total	Média	Total	Média
Ano						
1993	397,94	17,30	1,09	0,05	2.919,58	126,94
1994	347,56	20,44	1,14	0,07	5.454,27	320,84
1995	842,37	35,10	11,89	0,50	15.075,53	628,15
1996	797,88	33,25	19,27	0,80	9.492,49	395,52
1997	460,41	24,23	29,75	1,57	2.903,71	152,93
Média Total		26,06		0,60		324,88

Tabela 4.5 – Determinação da Precipitação Média Anual

Período 1993/1997	Município Campinas	Município Itatiba	Município Atibaia	Município Jarinu	Município Atibaia	Média Mensal (mm)
	Posto: D3-002	Posto: E3-015	Posto: E3-074	Posto: E3-154	Posto: E3-247	
Ano	Média Mensal (mm)	Média Mensal (mm)	Média Mensal (mm)	Média Mensal (mm)	Média Mensal (mm)	Média Mensal (mm)
1993	132,95	129,98	162,59	120,27	140,27	137,21
1994	111,19	84,74	150,97	116,07	132,87	119,17
1995	150,41	147,95	137,85	123,00	124,95	136,83
1996	140,53	122,70	144,22	124,89	129,46	132,36
1997	144,06	120,18	158,51	106,95	100,63	126,07
Média Mensal						130,33
Média Anual						1563,96

4.6.3 - Determinação do Fator Comprimento da Vertente e de Declive (LS)

De acordo com as classes de declividade obtidas da Figura 4.3, o Fator LS médio para o segmento de área foi dado pela Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Determinação do Fator LS Médio

Classes de declividade (%)	Comprimento de rampa (m)	Grau de declive (%)	Fator LS
0 – 5	40,00	2,50	0,296
5 – 10	13,35	7,50	0,543
10 – 20	6,67	15,00	0,794
> 20	5,00	20,00	0,930

LS médio = 0,641

4.6.4 - Determinação do Fator Uso e Manejo do Solo (C)

O Fator C foi obtido a partir de inspeções de campo (Figuras 4.4 e 4.5) e do Quadro 2.10, onde seu valor médio ponderado foi dado pela Tabela 4.7, onde não se considerou áreas urbanas.

Tabela 4.7 - Determinação do Fator C Médio

Área (km ²)	% de Cobertura de Solo	% de Cobertura Vegetal	Fator C
11,75	95 – 100	50	0,003
			0,011
1,30	80	60	0,012
		40	0,040

C médio = 0,0123

4.6.5 - Determinação do Fator Prática Conservacionista (P)

O valor do Fator P médio adotado para o segmento de área foi igual a 1,0, portanto, não foi considerado qualquer tipo de prática conservacionista, embora possa existir locais onde esta prática ocorra.

Passarela de pedestre
(antiga ponte de trem)

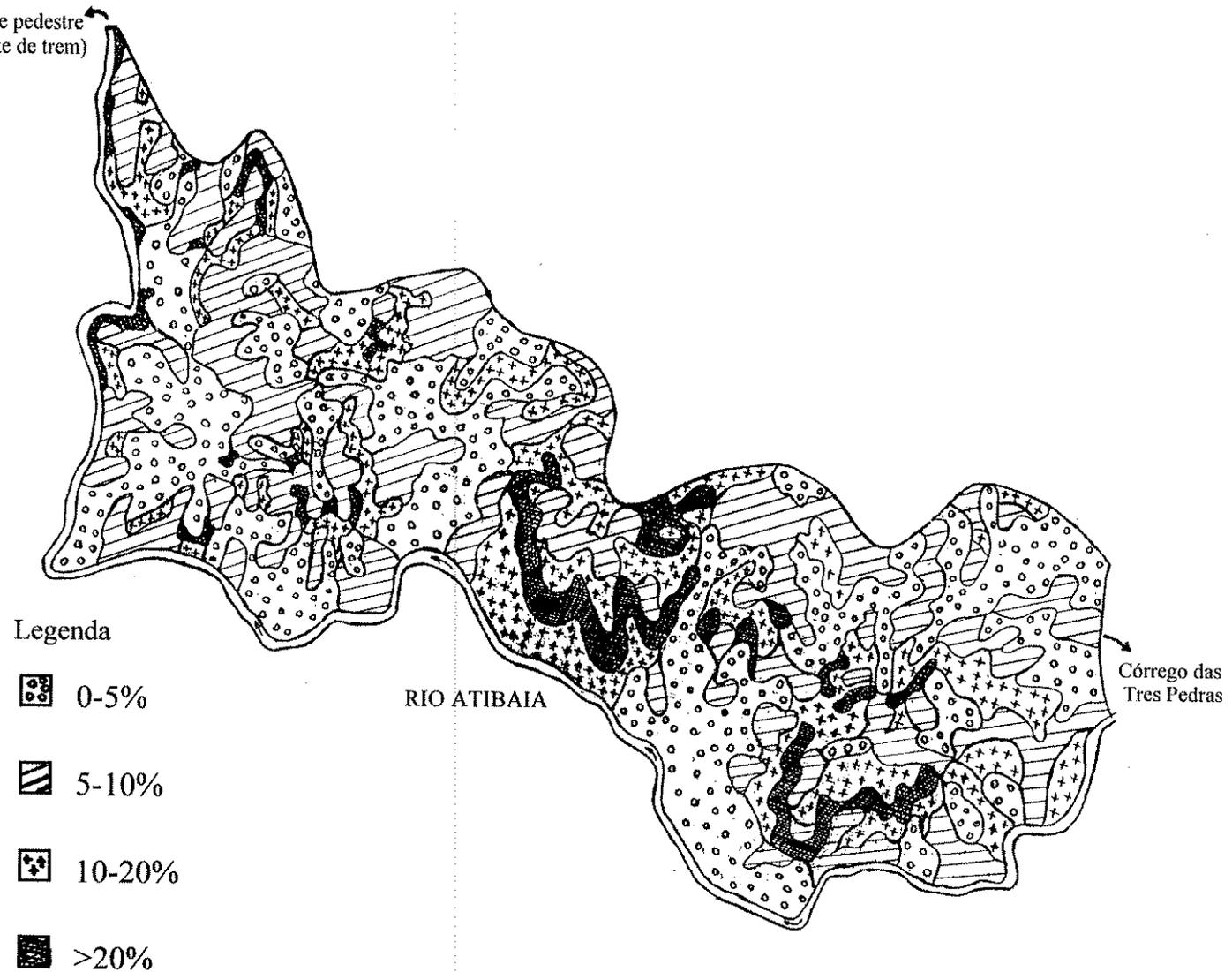


Figura 4.3 – Classes de declividade do segmento de área delimitado (sem escala)

a)



b)



Figura 4.4 – Estrada Municipal CAM-127 (Acesso Valinhos/Joaquim Egídio)
a) lado esquerdo e b) lado direito.

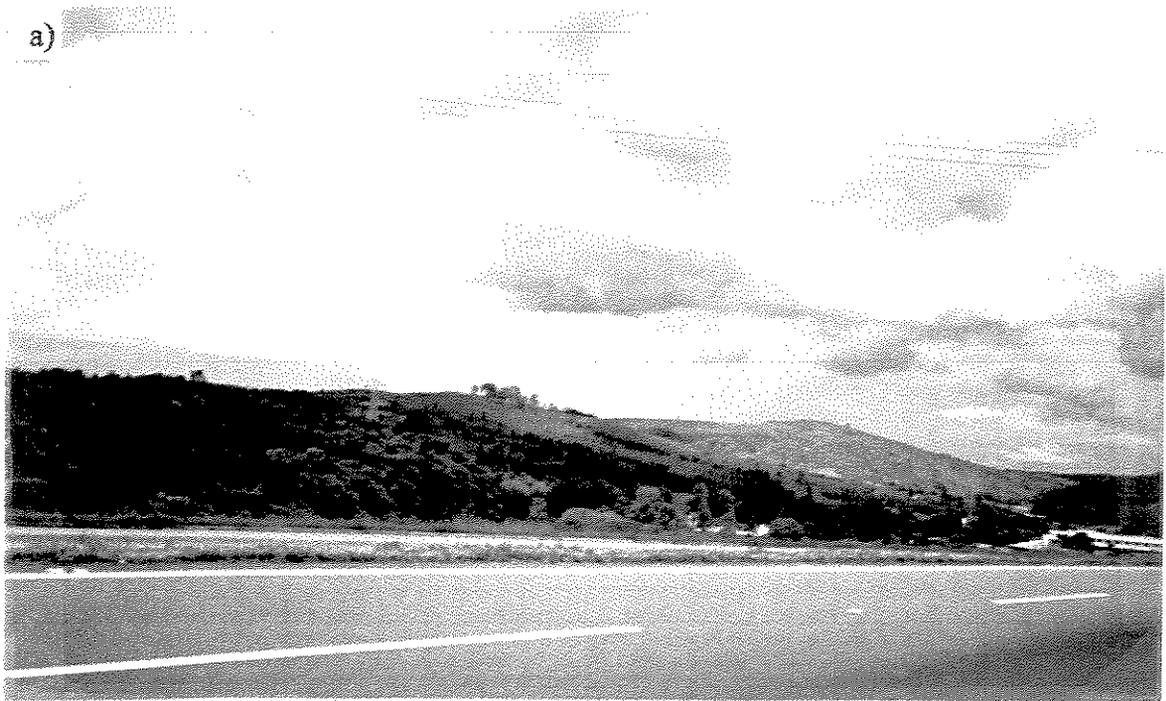


Figura 4.5 – a) Rodovia Dom Pedro I em frente à captação d'água da SANASA/Campinas;
b) Av. Antonio C.C. Barros em frente à Vila Santana/Distrito de Sousas/ Campinas.

5 – RESULTADOS

5.1 - RESULTADOS DAS APLICAÇÕES DAS EQUAÇÕES (4), (5), (6), E (8) CONSTAM DA TABELA 5.1 A SEGUIR:

Tabela 5.1 - Resultados das Equações Propostas e a Seção de Medidas

Equação	Resultados
Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985)	VSA = 0,176 Mm ³
	VSA=0,010Mm ³ $\bar{a} = 1,15$ e $\bar{b} = 0,8$
Kirkby (Garde & Ranga Raju, 1985)	VSA=0,150Mm ³ $a = 0,6$ e $b = 0,8$
	VSA=0,090Mm ³ $a = 0,7$ e $\bar{b} = 0,8$
Khosla (Garde & Ranga Raju, 1985)	VSA = 0,187 Mm ³
EUPS	VSA = 0,374 Mm ³
	VSA = 0,422 Mm ³
Seção de Medidas	VSA = 0,107 Mm ³

5.2 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste trabalho o volume de sedimentos mensurados na estação de medição é cerca de 27% do volume total da perda de solo calculada para a área média do trecho em estudo, obtida da aplicação da EUPS, onde os fatores da equação foram agrupados sob uma série de condições específicas no segmento de área delineado e, após extrapolados para a área de drenagem média do trecho em estudo.

Os resultados obtidos estão coerentes com os verificados por Lal apud Ranieri, 1996. Este autor, cita que apesar de não se ter valores absolutos sobre a contribuição de sedimentos, pois os resultados encontrados variam de acordo com o local estudado, 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 estimativa e experimentais, 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.

Comparando os resultados obtidos da aplicação da EUPS para a área média do trecho em estudo no rio Atibaia com os resultados obtidos por Ranieri (1996) foram próximos. Ranieri aplicou a EUPS na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Martins, afluente do rio Piracicaba, localizada no Município de Piracicaba/SP, entre 22° 41' e 22° 51' de latitude Sul e 47° 40' e 47° 45' de longitude Oeste, com uma área de 5.907 ha ou 59,07 km².

O maior acúmulo de áreas totais na Bacia do Ribeirão dos Martins está na perda de solo até 20 t/ha/ano (Ranieri, 1996) e para a área média do trecho em estudo os valores obtidos foram 15,9 t/ha/ano e 17,9 t/ha/ano. Não obstante os valores estejam próximos, não podemos esquecer que cada fator da EUPS foi arbitrado conforme as características intrínsecas da topografia, cobertura vegetal, tipo de solo e uso de práticas conservacionistas de cada área estudada.

O valor mensurado na estação de medição 3.374,7 t/dia corresponde à 99% do valor estimado médio da provável perda de solo para a área média do trecho em estudo de 3.404,91 t/dia. A razão desta ocorrência dá-se pelo fato de que no mês 02/1995 a precipitação média registrada foi de 404,26 mm. Isso significa que embora os parâmetros da EUPS foram obtidos para a área delineada e, posteriormente extrapolados para a área média do trecho em estudo, ocorrendo uma chuva com distribuição na média uniforme, a provável perda de solo

média calculada foi praticamente o mesmo valor do mensurado na estação de medição, onde conclui-se que toda partícula de sedimento existente na área do trecho em estudo, passível de ser transportada através do escoamento superficial, realmente atingiu a calha do rio.

Por outro lado, quando não há ocorrência da precipitação os sedimentos transportados serão os próprios do rio, deste modo a descarga sólida por arraste e suspensão mensurada na estação é cerca de 6,62 t/dia, dado que nesse caso a vazão líquida encontra-se bastante baixa 5,68 m³/s, as comportas da barragem no município de Atibaia são abertas para que um volume maior de água possa estar disponível no rio, assim sendo as partículas de sedimentos que estavam no leito em repouso são arrastadas e recomeçam sua marcha, elevando as taxas de descarga de sólidos transportada para aproximadamente 25,7 t/dia.

O segmento de área delimitado possui o solo podzólico vermelho-amarelo ortó e a tolerância de perda para este tipo de solo é de 5,2 a 7,6 t/ha/ano (Quadro 2.9), assim verificou-se através da aplicação da EUPS que este local está sofrendo perdas por erosão da ordem de 10,0 t/ha/ano.

Como as equações de Miraki (Garde & Ranga Raju, 1985), foram obtidas por análise de regressão de dados de 32 Bacias Hidrográficas, neste trabalho não serão avaliadas suas eficiências, devido aplicação de somente uma das equações.

A equação proposta que mais se aproxima do volume de sedimentos mensurados 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), levou somente em consideração a área do trecho em estudo, sendo que seu resultado foi de 58% do valor médio mensurado na estação de medição.

Os resultados obtidos da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo refletem as observações realizadas na área do trecho em estudo, de que a Sub-bacia do Atibaia é um cenário de intensas alterações ambientais, em decorrência principalmente das atividades antrópicas, traduzindo-se em termos de erosão acelerada.

6 – CONCLUSÕES

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

- O volume de sedimentos mensurados na Seção de Medidas foi de cerca de 27% do volume total da perda de solo calculada para a área média do trecho em estudo, obtida da aplicação da EUPS. Valor encontrado está coerente com o citado por Lal, apud Ranieri, 1996.

- Comparando os resultados obtidos da aplicação da EUPS para a área média do trecho em estudo no rio Atibaia com os resultados obtidos por Ranieri (1996), foram próximos.

- O valor da máxima descarga sólida transportada pelo rio Atibaia, na seção em estudo, verificada no período, foi de 3.374,7 t/dia que corresponde à 99% do valor estimado pela EUPS. A magnitude dos valores encontrados deve-se à precipitação média registrada no mês de realização da medição que foi de 404,26mm. A proximidade dos valores encontrados decorre que toda partícula de sedimento existente na área do trecho em estudo, passível de ser transportada através do escoamento superficial, realmente atingiu a calha do rio.

- O valor médio das menores descarga sólida transportada pelo rio Atibaia, na estação em estudo, em períodos de estiagem, foi de 6,62 t/dia para uma descarga líquida média de 5,68 m³/s.

- Verificou-se valores para a descarga sólida transportada, mesmo em períodos de estiagem, da ordem de 25,7 t/dia. Isto se deve ao aumento da descarga líquida provocado pela abertura de comportas na Barragem do Município de Atibaia.

- A aplicação da EUPS para a área delimitada, que serviu de base para o estudo, resultou em perdas por erosão da ordem de 10,0 t/ha/ano.

- A equação proposta que mais se aproxima do volume de sedimentos mensurados 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), levou somente em consideração a área da bacia, sendo que seu resultado foi de 58% do valor médio mensurado na estação de medição.

- Os resultados obtidos da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo refletem as observações realizadas no trecho em estudo, de que a Sub-bacia do Atibaia é um cenário de intensas alterações ambientais, em decorrência principalmente das atividades antrópicas., traduzindo-se em termos de erosão acelerada.

- Embora toda equação de origem empírica envolva erros de estimativa e experimentais, 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.

7 – RECOMENDAÇÕES

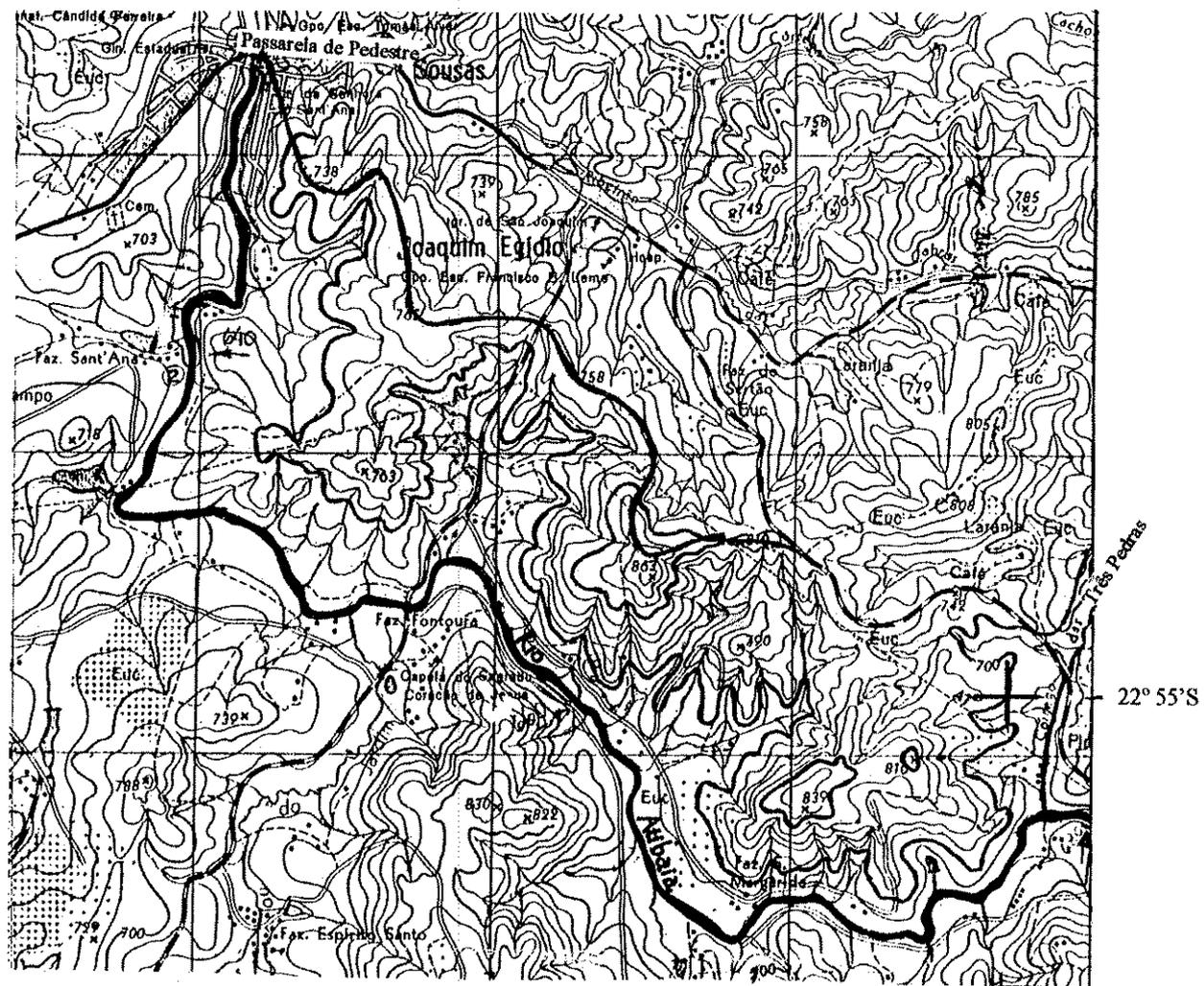
Recomenda-se para o próximo trabalho a execução das Equações as quais não foram aplicadas, para obtenção da equação que melhor represente o volume de sedimentos mensurados na seção de medidas para o trecho em estudo.

Sugere-se o uso de práticas conservacionistas para a diminuição e controle da erosão, principalmente no segmento de área delineado.

Sugere-se, também, a verificação de locais de prováveis pontos de assoreamento, dado que a descarga sólida transportada representa 27% da provável perda de solo para a área de estudo.

ANEXOS

ANEXO A – Segmento de Área Delineado no Trecho em Estudo



Segmento delimitado no trecho em estudo rio Atibaia
(Parte da Carta de Valinhos – Escala 1:50.000)

46° 55' W

ANEXO B – Medidas Fluviossedimétricas da Seção de Medidas

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

Nº	DATA	Q (m ³ /s)	S (m/m)	A (m ²)	P (m)	R _H (m)	B (m)	G _{as} (ton/dia)	G _{ss} (ton/dia)
01	26/03/93	31,69	1,94.10 ⁻⁴	49,63	36,50	1,36	34,70	0,141	301,57
02	06/04/93	21,73	1,97.10 ⁻⁴	41,73	36,30	1,15	34,87	0,038	103,69
03	20/04/93	16,78	1,85.10 ⁻⁴	38,78	35,80	1,08	34,88	0,045	151,23
04	04/05/93	22,67	2,11.10 ⁻⁴	44,71	37,40	1,20	34,78	0,045	212,57
05	18/05/93	13,12	1,63.10 ⁻⁴	36,60	35,50	1,03	34,38	0,024	27,54
06	01/06/93	40,92	2,31.10 ⁻⁴	55,70	37,10	1,50	35,24	0,190	541,01
07	08/06/93	23,11	1,64.10 ⁻⁴	43,63	37,65	1,16	34,91	0,026	81,61
08	15/06/93	17,03	1,81.10 ⁻⁴	37,96	35,40	1,07	34,21	0,008	36,29
09	22/06/93	16,91	1,72.10 ⁻⁴	37,60	37,23	1,01	34,54	0,008	30,77
10	29/06/93	9,48	1,64.10 ⁻⁴	31,40	36,00	0,87	33,99	0,007	14,92
11	06/07/93	8,26	1,05.10 ⁻⁴	31,18	35,50	0,88	33,77	0,002	12,23
12	21/07/93	7,03	0,89.10 ⁻⁴	29,13	35,20	0,83	33,64	0,006	11,43
13	03/08/93	3,74	0,64.10 ⁻⁴	25,71	34,43	0,75	32,82	0,002	4,63
14	17/08/93	5,93	0,30.10 ⁻⁴	27,41	35,20	0,78	33,53	0,002	7,39
15	31/08/93	6,13	0,47.10 ⁻⁴	31,48	35,60	0,88	33,74	0,002	8,58
16	21/09/93	10,95	1,47.10 ⁻⁴	34,11	35,60	0,96	33,97	0,006	26,69
17	28/09/93	38,11	2,31.10 ⁻⁴	51,42	37,65	1,37	34,92	0,384	431,23
18	05/10/93	14,02	1,47.10 ⁻⁴	35,54	36,30	0,98	34,38	0,006	113,15
19	21/10/93	22,83	1,89.10 ⁻⁴	42,15	37,40	1,14	34,84	0,023	174,26
20	28/10/93	28,94	2,06.10 ⁻⁴	47,48	37,50	1,27	34,88	0,037	408,30
21	04/11/93	7,25	0,80.10 ⁻⁴	30,01	35,50	0,85	33,82	0,003	22,51
22	09/11/93	9,90	1,30.10 ⁻⁴	31,47	35,35	0,89	34,01	0,005	29,76
23	20/12/93	21,41	1,97.10 ⁻⁴	42,79	35,50	1,21	34,64	0,080	168,22
24	10/02/94	52,61	0,80.10 ⁻⁴	64,04	38,70	1,65	35,65	0,332	530,27
25	29/03/94	37,70	1,97.10 ⁻⁴	68,50	35,75	1,92	34,34	0,027	228,66
26	19/04/94	20,09	1,30.10 ⁻⁴	51,34	34,80	1,47	34,00	0,022	68,25
27	06/05/94	12,10	0,96.10 ⁻⁴	44,60	34,20	1,30	33,60	0,012	25,17
28	20/05/94	12,58	1,14.10 ⁻⁴	44,60	34,20	1,30	33,60	0,012	26,27
29	17/06/94	12,82	0,72.10 ⁻⁴	44,80	34,60	1,29	33,64	0,005	10,59
30	01/07/94	13,71	1,14.10 ⁻⁴	47,45	34,54	1,38	33,81	0,006	10,80
31	15/07/94	10,56	0,64.10 ⁻⁴	44,28	34,22	1,29	33,64	0,051	26,35
32	29/07/94	13,98	1,14.10 ⁻⁴	47,30	34,48	1,37	33,81	0,010	45,26
33	12/08/94	6,91	0,47.10 ⁻⁴	42,61	34,06	1,25	33,26	0,011	5,88
34	26/08/94	9,44	0,62.10 ⁻⁴	46,19	34,19	1,35	33,47	0,002	11,84
35	08/09/94	10,93	0,80.10 ⁻⁴	47,28	34,48	1,37	33,68	0,004	25,42
36	22/09/94	14,32	1,30.10 ⁻⁴	50,30	34,70	1,45	33,92	0,002	23,66
37	06/10/94	9,67	0,47.10 ⁻⁴	44,94	34,30	1,31	33,49	0,002	14,96
38	27/10/94	28,50	1,22.10 ⁻⁴	63,31	35,50	1,78	34,48	0,424	218,31
39	23/11/94	11,00	0,47.10 ⁻⁴	55,61	34,33	1,33	33,52	0,004	33,80
40	22/12/94	70,64	2,14.10 ⁻⁴	98,56	37,28	2,64	35,68	0,218	4148,78
41	05/01/95	56,36	2,31.10 ⁻⁴	82,62	36,26	2,28	35,27	0,523	880,96
42	19/01/95	19,98	1,47.10 ⁻⁴	52,84	34,82	1,51	33,92	0,015	68,08
43	26/01/95	17,01	1,47.10 ⁻⁴	50,97	34,77	1,46	33,93	0,036	56,93
44	09/02/95	159,81	1,14.10 ⁻⁴	143,85	39,85	3,61	40,30	3,097	3371,61
45	16/02/95	68,21	2,47.10 ⁻⁴	89,00	36,46	2,44	35,40	0,485	448,69
46	08/03/95	31,34	1,72.10 ⁻⁴	63,57	35,53	1,79	34,94	0,396	141,31

Q=vazão líquida
S=declividade da linha d' água
A= área molhada

P=perímetro molhado
R_H=raio hidráulico
B=largura do espelho d' água

G_{sa}=desc. sólida por arraste.
G_{ss}=desc. sólida em suspensão
Continua...

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

continuação...

Nº	DATA	Q (m ³ /s)	S (m/m)	A (m ²)	P (m)	R _H (m)	B (m)	G _{as} (ton/dia)	G _{ss} (ton/dia)	
47	24/03/95	64,81	1,80.10 ⁻⁴	89,07	36,47	2,44	35,38	1,721	8337,34	
48	07/04/95	47,36	1,97.10 ⁻⁴	74,26	35,98	2,06	35,05	0,171	373,80	
49	28/04/95	29,99	1,80.10 ⁻⁴	61,54	35,43	1,74	34,63	0,081	93,42	
50	12/05/95	37,76	1,80.10 ⁻⁴	66,61	35,68	1,87	34,74	0,468	182,66	
51	09/06/95	20,51	1,47.10 ⁻⁴	57,87	35,06	1,57	34,35	0,023	33,43	
52	23/06/95	20,50	1,04.10 ⁻⁴	53,43	36,18	1,98	34,34	0,018	35,87	
53	05/07/95	16,29	1,47.10 ⁻⁴	50,01	34,70	1,44	34,19	0,051	20,75	
54	12/07/95	45,94	2,39.10 ⁻⁴	75,71	36,02	2,10	35,03	4,163	307,08	
55	19/07/95	22,54	1,55.10 ⁻⁴	56,29	35,14	2,16	34,59	0,016	47,27	
56	26/07/95	26,29	1,64.10 ⁻⁴	59,62	35,32	1,69	34,61	0,118	101,72	
57	10/08/95	14,71	1,22.10 ⁻⁴	49,26	34,64	1,42	34,09	0,012	16,90	
58	31/08/95	10,61	0,80.10 ⁻⁴	43,28	34,13	1,27	33,65	0,002	9,88	
59	21/09/95	21,80	4,73.10 ⁻⁴	56,17	35,13	1,60	34,28	0,031	50,55	
60	28/09/95	23,78	1,30.10 ⁻⁴	58,45	35,26	1,66	34,68	0,249	72,23	
61	05/10/95	13,59	0,97.10 ⁻⁴	48,18	34,55	1,39	34,16	0,002	16,93	
62	19/10/95	48,82	1,88.10 ⁻⁴	77,21	36,08	2,14	35,02	0,205	370,01	
63	23/11/95	15,11	0,97.10 ⁻⁴	48,00	34,50	1,39	34,05	0,006	25,51	
64	07/12/95	9,25	0,64.10 ⁻⁴	42,47	33,96	1,25	33,39	0,002	12,60	
65	10/01/96	106,31	2,14.10 ⁻⁴	112,07	37,37	3,00	36,91	5,141	1869,30	
66	31/01/96	22,38	1,47.10 ⁻⁴	54,00	34,99	1,54	34,12	0,019	66,26	
67	07/02/96	39,74	1,64.10 ⁻⁴	68,59	35,75	1,92	35,12	0,238	246,43	
68	06/03/96	60,16	2,06.10 ⁻⁴	84,79	36,33	2,33	35,36	3,542	517,94	
69	20/03/96	111,45	2,47.10 ⁻⁴	111,68	37,37	2,99	36,55	1,150	1721,13	
70	03/04/96	35,03	1,80.10 ⁻⁴	65,41	35,62	1,84	34,87	0,133	202,66	
71	16/04/96	32,34	1,64.10 ⁻⁴	65,31	35,62	1,83	34,52	0,051	1983,98	
72	15/05/96	25,67	1,47.10 ⁻⁴	58,86	35,28	1,67	34,24	0,246	48,88	
73	22/05/96	22,58	1,47.10 ⁻⁴	56,30	35,13	1,60	34,20	0,008	30,34	
74	19/06/96	13,76	0,97.10 ⁻⁴	49,15	34,64	1,42	33,76	0,012	15,30	
75	03/06/96	16,83	1,14.10 ⁻⁴	52,61	34,89	1,51	34,07	0,023	28,51	
76	17/07/96	12,79	0,97.10 ⁻⁴	47,41	34,50	1,37	33,81	0,004	13,04	
77	31/07/96	12,23	1,05.10 ⁻⁴	46,64	34,43	1,35	34,75	0,005	11,46	
78	07/08/96	12,60	0,80.10 ⁻⁴	47,65	34,52	1,38	34,04	0,004	11,19	
79	14/08/96	14,24	1,05.10 ⁻⁴	50,30	34,72	1,45	33,99	0,005	22,04	
80	21/08/96	15,09	0,89.10 ⁻⁴	51,00	34,78	1,47	33,89	0,005	20,69	
81	28/08/96	12,25	0,97.10 ⁻⁴	47,41	34,50	1,37	33,73	0,003	11,92	
82	04/09/96	24,13	1,47.10 ⁻⁴	60,37	35,37	1,71	34,56	0,036	89,85	
83	11/09/96	78,24	2,31.10 ⁻⁴	97,96	36,77	2,66	35,84	3,697	1586,68	
84	02/10/96	17,00	1,05.10 ⁻⁴	51,20	34,80	1,50	34,10	0,006	24,84	
85	16/10/96	28,70	1,50.10 ⁻⁴	63,40	35,50	1,80	34,70	0,250	151,54	
86	06/11/96	32,10	1,60.10 ⁻⁴	65,80	35,60	1,80	34,70	0,320	350,31	
87	20/11/96	27,90	1,30.10 ⁻⁴	65,20	35,60	1,80	34,70	0,034	315,61	
88	06/12/96	24,36	1,30.10 ⁻⁴	58,60	35,30	1,70	34,60	4,34	152,59	
Q=vazão líquida S=declividade da linha d' água A= área molhada				P=perímetro molhado R _H =raio hidráulico B=largura do espelho d' água			G _{ss} =desc. sólida por arraste G _{ss} =desc. sólida em suspensão			

continua...

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

continuação

Nº	DATA	Q (m ³ /s)	S (m/m)	A (m ²)	P (m)	R _H (m)	B (m)	G _{as} (ton/dia)	G _{ss} (ton/dia)	
89	09/01/97	28,58	1,47.10 ⁻⁴	59,32	35,51	1,78	34,68	0,033	228,09	
90	22/01/97	41,34	2,14.10 ⁻⁴	72,48	35,91	2,02	34,78	0,146	388,86	
91	03/02/97	104,46	2,14.10 ⁻⁴	106,79	39,77	2,69	36,46	21,99	1204,00	
92	12/03/97	25,44	1,47.10 ⁻⁴	53,99	35,70	1,51	34,32	1,01	118,63	
93	26/03/97	18,42	1,22.10 ⁻⁴	47,22	35,09	1,35	33,84	0,16	48,84	
94	16/04/97	14,59	0,97.10 ⁻⁴	43,44	36,68	1,25	33,64	0,032	24,82	
95	14/05/97	11,30	1,05.10 ⁻⁴	41,08	34,40	1,19	33,16	0,104	16,29	
96	04/06/97	15,35	1,22.10 ⁻⁴	46,01	34,96	1,32	33,64	0,006	32,42	
97	02/07/97	14,99	1,22.10 ⁻⁴	45,71	34,93	1,31	33,84	0,005	41,54	
98	12/08/97	16,38	1,13.10 ⁻⁴	46,60	35,02	1,33	33,93	0,003	77,64	
99	19/08/97	9,16	0,63.10 ⁻⁴	38,03	34,00	1,12	33,18	0,0012	5,38	
100	26/08/97	19,34	1,47.10 ⁻⁴	49,68	35,32	1,41	33,97	0,0054	28,46	
101	09/09/97	9,16	1,05.10 ⁻⁴	38,03	34,00	1,12	33,40	0,0024	14,49	
102	23/09/97	17,79	7,90.10 ⁻⁴	47,94	35,16	1,36	33,96	0,0128	47,09	
103	07/10/97	16,42	1,40.10 ⁻⁴	46,43	35,01	1,33	33,98	0,0134	60,37	
104	21/10/97	19,54	0,70.10 ⁻⁴	50,41	35,39	1,42	34,07	0,0141	55,72	
105	04/11/97	14,40	1,10.10 ⁻⁴	44,70	34,82	1,28	33,80	0,0029	35,57	
106	02/12/97	22,51	1,20.10 ⁻⁴	51,85	35,52	1,46	34,22	0,439	67,62	
107	16/12/97	41,24	2,10.10 ⁻⁴	65,47	36,49	1,79	34,77	5,77	407,88	
108	13/01/98	42,74	3,31.10 ⁻⁴	68,72	36,02	1,91	34,82	0,107	731,35	
109	27/01/98	21,94	0,80.10 ⁻⁴	48,98	34,33	1,43	34,01	0,0098	87,79	
110	11/02/98	54,61	2,14.10 ⁻⁴	75,26	36,43	2,07	35,24	1,66	643,91	
111	26/02/98	69,92	2,14.10 ⁻⁴	85,70	37,06	2,31	34,55	1,06	1776,12	
112	11/03/98	32,01	1,81.10 ⁻⁴	58,75	35,28	1,67	34,68	1,60	235,16	
113	25/03/98	42,21	1,97.10 ⁻⁴	65,93	35,28	1,84	35,22	0,31	398,43	
114	08/04/98	18,31	1,30.10 ⁻⁴	46,18	34,00	1,36	33,54	0,034	41,16	
115	22/04/98	17,93	0,72.10 ⁻⁴	49,87	34,43	1,45	33,96	0,0043	49,02	
116	06/05/98	56,68	1,80.10 ⁻⁴	77,66	36,57	2,12	35,22	0,165	653,00	
117	21/05/98	16,46	1,64.10 ⁻⁴	48,45	34,27	1,41	34,01	0,0051	27,04	
118	03/06/98	20,11	1,30.10 ⁻⁴	47,89	34,20	1,40	33,70	0,0159	51,38	
119	17/06/98	14,17	1,11.10 ⁻⁴	43,11	33,60	1,28	33,04	-	23,78	
120	15/07/98	15,58	1,30.10 ⁻⁴	43,46	33,65	1,29	33,02	0,005	20,42	
121	29/07/98	11,60	0,97.10 ⁻⁴	37,36	32,73	1,14	32,50	0,0024	8,81	
122	12/08/98	12,96	1,17.10 ⁻⁴	38,55	32,93	1,17	32,77	0,0034	11,08	
123	25/08/98	8,72	0,89.10 ⁻⁴	34,12	32,17	1,06	32,08	-	11,77	
124	02/09/98	15,34	0,97.10 ⁻⁴	42,71	33,54	1,27	32,90	-	24,23	
125	16/09/98	12,00	0,64.10 ⁻⁴	38,04	32,84	1,16	32,90	0,006	17,55	
126	30/09/98	15,22	0,80.10 ⁻⁴	43,24	33,61	1,29	32,87	0,004	15,74	
127	14/10/98	30,02	2,10.10 ⁻⁴	51,43	34,59	1,49	33,28	0,0235	173,78	
128	28/10/98	21,36	1,97.10 ⁻⁴	43,03	33,59	1,28	32,92	0,0103	55,75	
Q=vazão líquida S=declividade da linha d' água A= área molhada				P=perímetro molhado R _H =raio hidráulico B=largura do espelho d' água			G _{sa} =desc. sólida por arraste G _{ss} =desc. sólida em suspensão			

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do Solo**. Ícone Editora, Barra Funda, SP, 1990, p: 355.
- BLOOM, A. L.. *Fragmentos Rochosos em Movimento*. **Superfície da Terra**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, Cap. 3, 1970, p: 20 – 58 (Série de Textos Básicos de Geociência).
- BLOOM, A. L.. *Erosão e Transportes Glaciais*. **Superfície da Terra**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, Cap. 7, 1970, p: 164 – 168 (Série de Textos Básicos de Geociência).
- BOWLES, J. E.. *Soil Properties – Physical and Index*. **Physical and Geotechnical Properties of Soils**. 2ª Ed. McGraw-Hill, Inc., New York, USA, Cap. 2, 1984, p: 47.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS – PCJ.. **Implantação, Resultados e Perspectivas**. Campinas: Arte Brasil, 1996, p: 29.
- 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 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).
- FIGUEIREDO, A. G.. **A Dinâmica da Produção e Transporte de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Aguapeí.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Vol. I, 1993, p: 1 – 100 (Tese, Doutorado em Engenharia Hidráulica).
- FORNASARI FILHO, N. (Coord.) et alli.. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992, Boletim 61, p: 123.
- 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.
- 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.

MEYER, L. D. & MUTCHLER, C. K.. *Soil Erosion - An Overview of Onsite and Offsite Consequences. Advances in Hydro - Science and - Engineering*. Volume I, 1993 p: 581 – 587. ISBN 0-937099 –02-3 (2- Part Set).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA.. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo**. Boletim nº 12, Rio de Janeiro/Brasil, 1960, p: 65 – 79. (Contribuição à Carta de Solos do Brasil).

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: 100 (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos).

PINTO, N. L. de S., HOLTZ, A. C. T. & MARTINS, J. A.. **Hidrologia de Superfície**. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1973, p: 27.

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: 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.

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.

VILLELA, M. S. & MATTOS, A .. *Precipitação. Hidrologia Aplicada.* São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1975, Cap. 3, p: 29 – 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.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

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

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.

ESPARTEL, L.. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo, Segunda parte- Topologia, Junho / 1965, p: 433 – 460.

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.

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.

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).

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).

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

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

ABSTRACT

In the face of constant increment of world population certainly stimulate a rising of sediment discharge because of urban sprawl. This population increment involve, also in rising water uses for purposes multiples, therefore a management more severe water resources is needful.

Thus, the object this work is to qualify and to quantity a solid load transport at a gauging station on the Atibaia river and to associate with the sediments yield from catchment.

Then, the concentration of solid load were measured in the Atibaia river section is around 0,107 Mm³/year, make-up clay, silt, sand and gravel. The estimation of sediments yield were giving by Sediments Transport Equations (Garde & Ranga Raju, 1985) with satisfactorie results and, also by the Universal Soil Loss Equation in sub-area, with results extended for studied area, where showed the accelerate erosion in Atibaia Catchment.

Key-Words: Sediment Yield, Sediment Transport, Solid Load Transport, Erosion.