

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DA ENERGIA

**ESTUDO DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NOS CURSOS
D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SAPUCAÍ**

Carlos Renato Marcondes

Fevereiro de 2011
Itajubá – MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DA ENERGIA

Carlos Renato Marcondes

**ESTUDO DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NOS CURSOS
D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SAPUCAÍ**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia da Energia.

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa

Fevereiro de 2011

Itajubá – MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

M321e

Marcondes, Carlos Renato

Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da
Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí / Carlos Renato Marcondes. --
Itajubá, (MG) : [s.n.], 2011.

78 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Descarga sólida em suspensão. 2. Estudos sedimentológicos.
3. Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. 4. Curva-chave. I. Barbosa,
Alexandre Augusto, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III.
Título.

Dedico o presente trabalho aos meus pais, José Carlos Prince Marcondes e Maria José de Freitas Marcondes, exemplos de garra e sabedoria, pelo esforço contínuo para que eu pudesse ir à busca da realização de um sonho.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que é o caminho, a verdade e a vida e que permaneceu sempre ao meu lado dando-me coragem e saúde para vencer todos os obstáculos.

Ao professor Dr. Alexandre Augusto Barbosa, exemplo de competência e amizade, pela sua orientação.

Às professoras Dra. Ana Lucia Fonseca e Dra. Márcia Kondo, pelos conhecimentos transmitidos, empréstimo de equipamentos e do laboratório.

Aos demais professores que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento científico.

Aos amigos Osvaldinho, Adriano Campos, Adam Douglas e Helton pela ajuda nos trabalhos de campo e coleta dos dados.

Aos amigos do curso de Engenharia da Energia em especial ao Clovis, Bruno, Daniel, Edson, Gilberto e Sérgio, pela ajuda mútua, conhecimentos transmitidos e companheirismo durante essa jornada.

Aos funcionários do Instituto de Recursos Naturais - IRN e do Centro de Excelência em eficiência Energética - EXCEN - da UNIFEI, pelo apoio concedido.

Ao amigo Roberto de Mattos, pela amizade, paciência e compreensão em nossos árduos dias trabalho.

A minha noiva Letícia Lisboa Santiago, pela ajuda, companheirismo e principalmente pela inestimável paciência nesta jornada.

Por fim, a todos que, com seus conhecimentos, incentivos e críticas colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Aspectos Preliminares	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo principal	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1. Ciclo Hidrossedimentológico.....	5
2.1.1. Processos e componentes do ciclo hidrossedimentológico.....	5
2.2. Importância do Estudo de Sedimento.....	9
2.3. Efeitos dos Sedimentos ao Meio Ambiente.....	11
2.4. Problemas Gerados pelos Sedimentos.....	12
2.4.1. Problemas devido à erosão.....	13
2.4.2. Problemas devido ao transporte de sedimentos.....	15
2.4.3. Problemas devido ao depósito de sedimentos.....	16
2.5. Benefícios Trazidos pelos Sedimentos ao Meio Ambiente	18
2.6. Controle de Sedimentos.....	19
2.6.1. Controle de sedimentos na bacia hidrográfica	19
2.7. Transporte Fluvial de Sedimentos.....	20
2.7.1. Capacidade de transporte	22
2.7.2. Formas de transporte de sedimentos.....	23
2.8. Distribuição de Sedimentos no Curso de Água	24
2.8.1. Distribuição vertical de sedimentos.....	24
2.8.2. Distribuição de sedimentos na seção transversal	25

2.8.3. Distribuição de sedimentos ao longo do curso d'água	26
2.9. Medições do Transporte de Sedimentos.....	28
2.10. Os Sedimentos em Reservatórios.....	30
2.10.1. Efeitos do assoreamento na geração de energia elétrica.....	31
2.11. A Hidrossedimentologia Aplicada à Bacia do Rio Sapucaí	32
2.11.1. Avaliação da descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí.....	33
CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1. A Bacia Hidrográfica Estudada.....	37
3.2. Localização das Áreas de Estudo.....	40
3.3. Avaliação Sedimentológica	42
3.4. Coleta de Dados	42
3.5. Determinação das Características das Seções Transversais	44
3.6. Determinação da Descarga Líquida	46
3.7. Coleta de Amostras de Água.....	48
3.8. Análise da Concentração de Sólidos Totais em Laboratório	49
3.9. Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão	51
3.10. Cálculo da Produção Específica de Sedimentos	52
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1. Apresentação dos Resultados.....	54
4.2. Discussão dos Resultados.....	58
4.3. Impactos do Carreamento de Sedimentos na Região em Estudo.....	60
CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVA GRANULOMÉTRICA DE MATERIAL EM SUSPENSÃO E DO LEITO. FONTE: CARVALHO (2008).	8
FIGURA 2. TRAJETÓRIA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS AO LONGO DO CICLO HIDROSEDIMENTOLÓGICO. 9	
FIGURA 3. FOTO DE EROÇÃO NAS MARGENS DO RIO.....	14
FIGURA 4. FOTO DA ESTRADA JUNTO ÀS MARGENS DO RIO.	14
FIGURA 5. FOTO DE PECUÁRIA ÀS MARGENS DO RIO.....	14
FIGURA 6. FOTO DE AGRICULTURA ÀS MARGENS DO RIO.	14
FIGURA 7: PROCESSOS ATUANTES NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. FONTE: CHRISTOFOLETTI (1981)	21
FIGURA 8. DISTRIBUIÇÕES VERTICAIS QUE PODEM SER ENCONTRADAS NUM CURSO D'ÁGUA. FONTE: CARVALHO (2008).	25
FIGURA 9. DIAGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS E DESCARGA SÓLIDA NOS CURSOS D'ÁGUA. FONTE: CARVALHO (2008).....	26
FIGURA 10. RELAÇÃO ENTRE BACIA HIDROGRÁFICA E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS. FONTE: CARVALHO (2008)	27
FIGURA 11. AMOSTRADOR DNS " <i>DELFT NILO SAMPLER</i> ". FONTE: LOUREIRO (2008).	29
FIGURA 12. CURVA CHAVE DE SEDIMENTOS DA BACIA DO ALTO SAPUCAÍ. FONTE: MAIA (2005).	36
FIGURA 13. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SAPUCAÍ. ORG. POR: CARLOS RENATO MARCONDES, 2011.	39
FIGURA 14. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETAS DE DADOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS (MODIFICADO DE GOOGLE EARTH®). ORG. POR: CARLOS RENATO MARCONDES, 2011.....	41
FIGURA 15. CROQUI DA DISTRIBUIÇÃO DOS SEIS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRA DE ÁGUA NAS SEÇÕES ESTUDADAS.	43
FIGURA 16. FOTO DOS FRASCOS COM AMOSTRAS DE ÁGUA COLETADAS NA SEÇÃO OLEGÁRIO MACIEL NO RIO SAPUCAÍ.....	44
FIGURA 17. FOTO COM O DESTAQUE DA ROTULAGEM PARA IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS.	44
FIGURA 18. FOTO DA ESTAÇÃO TOTAL SENDO UTILIZADA PARA COLETA DE DADOS DE TOPOGRAFIA NA SEÇÃO CHAPADÃO NO RIO SAPUCAÍ MIRIM, EM POUSO ALEGRE/MG.....	45

FIGURA 19. PERFIL TOPOBATIMÉTRICO DA SEÇÃO SANTA ROSA, NO RIO SAPUCAÍ EM ITAJUBÁ/MG.	46
FIGURA 20. FOTO DA PARTE INFERIOR DO QLINER.	47
FIGURA 21. FOTO DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS DO QLINER (1,2 E 3 – SENSORES DE VELOCIDADE, 4 – ECOBATÍMETRO E 5 SENSOR DE PRESSÃO).	47
FIGURA 22. FOTO DO FUNCIONAMENTO DO QLINER.	47
FIGURA 23. FOTO DO CONTROLE DO QLINER.	47
FIGURA 24. VETORES VELOCIDADE, VAZÃO UNITÁRIA E PERFIL BATIMÉTRICO DA MEDIÇÃO EM DELFIM MOREIRA/MG.FONTE: QMETRIX (2007).	48
FIGURA 25. FOTO DA AMOSTRAGEM MANUAL DA ÁGUA NAS ÁREAS DE BAIXA PROFUNDIDADE. ...	49
FIGURA 26. FOTO DA AMOSTRAGEM DA ÁGUA EM REGIÕES MAIS PROFUNDAS COM O AUXÍLIO DA GARRAFA DE <i>VANDORN</i>	49
FIGURA 27. FOTO DA AMOSTRAGEM DA ÁGUA EM REGIÕES MAIS PROFUNDAS COM O AUXÍLIO DA GARRAFA DE <i>VANDORN</i>	49
FIGURA 28. FOTO DA CAIXA TÉRMICA COM GELO PARA PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	49
FIGURA 29. PROCESSOS NECESSÁRIOS PARA ANÁLISE DE SÓLIDOS TOTAIS (EATON ET. AL, 1998).	51
FIGURA 30. CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS DA BACIA DO RIO SAPUCAÍ.....	57
FIGURA 31. FOTO DO RIO SANTO ANTÔNIO SEM MATA CILIAR.....	61
FIGURA 32. FOTO DO RIO SAPUCAÍ, SEÇÃO SANTA RITA: ÁREA URBANA.	61
FIGURA 33. FOTO DO RIO SAPUCAÍ MIRIM SEM MATA CILIAR.	62
FIGURA 34. FOTO DO RIO LOURENÇO VELHO SEM MATA CILIAR.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TAMANHO DOS MATERIAIS DESAGREGADOS.	6
TABELA 2: DADOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ OBTIDOS POR MAIA (2005).....	33
TABELA 3. DESCRIÇÃO E COORDENADAS UTM - WGS 84 - 23K DAS SEÇÕES.	40
TABELA 4. RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO (MG/L).	54
TABELA 5. RESULTADOS DA DESCARGA LÍQUIDA (m^3/s), DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO (T/DIA) E DE PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE SEDIMENTOS EM $\text{T}/\text{KM}^2.\text{ANO}$	55
TABELA 6. PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE SEDIMENTOS ($\text{T}/\text{KM}^2.\text{DIA}$) EM SEÇÕES COINCIDENTES NOS ANOS DE 2005, 2009 E 2010.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

A – Área da seção molhada

BIG - Banco de Informação de Geração

C_p – Concentração pontual

D = diâmetro médio das partículas do leito

I = declividade do leito

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA – Índice de qualidade de água

Q = descarga líquida

Q_{sa} = descarga do material do leito

Q_{sb} – Descarga de sedimento transportada em suspensão proveniente da bacia hidrográfica (wash load ou deplúvio)

Q_{sf} – Descarga de sedimentos transportada por arrasto de fundo (bed load)

Q_{ss} – Descarga de sedimentos proveniente do fundo, transportada em suspensão (suspended load)

Q_{st} – Descarga total de sedimentos (total load)

S – Sólidos Totais

$\bar{S}$ – Concentração média de sedimentos na seção transversal

P_s – Produção Específica de Sedimentos

RESUMO

MARCONDES, C.R. (2011). Estudo de Descarga Sólida em Suspensão nos Cursos D'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. Itajubá, 2011. 78p. Dissertação – UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá-MG.

Os estudos acerca da descarga sólida dos corpos aquáticos são uma importante ferramenta para a caracterização dos mesmos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade e quantidade de água, pois, como veículos de transporte de microrganismos, podem conter partículas tóxicas e, sobretudo, intensificar o assoreamento dos rios, evidenciando importantes processos e estágios de degradação do meio ambiente. Desse modo, o estudo da descarga sólida em suspensão na bacia hidrográfica do rio Sapucaí contribui para melhor diagnosticar a qualidade e quantidade de água, possibilita maior compreensão dos fenômenos de cheias nesta bacia hidrográfica bem como dos impactos ambientais relacionados ao transporte de sedimentos. A ocupação antrópica sem planejamento na área em estudo confirmou-se pelos resultados obtidos da concentração de sedimentos em suspensão, que apresentaram elevados valores em algumas das seções estudadas. A aplicação de métodos simples de amostragem e avaliação de sedimentos em suspensão juntamente com a comparação de estudos já realizados na região permitiram um ajuste da curva-chave de sedimentos em suspensão na bacia do rio Sapucaí, facilitando assim os estudos sedimentológicos posteriores.

Palavras chave: Descarga Sólida em Suspensão. Descarga Líquida. Estudos Sedimentológicos. Qualidade das Águas. Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. Curva-chave.

ABSTRACT

MARCONDES, C.R. (2011). Study of Suspended Sediment Discharge in Waterways of the Sapucaí River Basin, 2011. 78p. Dissertation - UNIFEI - Federal University of Itajubá-MG.

Studies on sediment discharge of water bodies are an important tool for characterization of water bodies since the sediments affect directly the quality and quantity of water because they can be vehicles for the transport of microorganisms can contain toxic particles, and especially intensify the silting of rivers showing important processes and stages of degradation in the environment. Thus, the study of suspended sediment discharge of the Sapucaí river basin contributes to a better diagnosis of the quality and quantity of water, enables better understanding of the phenomena of floods in this basin and the environmental impacts related to sediment transport. The human occupation without planning at the study area was confirmed by the results of the concentration of suspended sediments, which show high values in some of the analyzed sections. The application of simple methods of sampling and the assessment of suspended sediment, as well as the review of existing studies in the region led to the fitting of the suspended sediment key-curve in the Sapucaí river basin, thus facilitating subsequent sedimentological studies.

Keywords: Suspended Sediment Discharge. Net Discharge. Sedimentological Studies. Waters Quality. Sapucaí River Basin. Key-curve.

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

1.1 . Aspectos Preliminares

Nas últimas décadas o interesse por estimar o transporte fluvial de sedimentos em suspensão é crescente. As razões incluem questões como: transportes de contaminantes, tendências de qualidade de água, assoreamento de reservatórios, assoreamento de canais de porto, erosão e perda de solo, bem como impactos seus ecológicos e recreativos (HOROWITZ, 2008 e ROVIRA; BATALLA, 2006).

O Brasil possui uma das maiores redes fluviais do mundo, de grande importância no desenvolvimento do país quando relacionado ao abastecimento de água, geração de energia hidráulica, navegação, utilização na agricultura, recreação, etc. Para obtenção de dados seguros a fim de se estabelecer um controle no processo de operação e manutenção das redes fluviais compostas por inúmeras bacias que apresentam diferentes características, torna-se necessário a realização de algumas práticas e análises com o objetivo de se encontrar dados satisfatórios que possam contribuir para a determinação da quantidade e qualidade da água. Para tal é indispensável valores como: níveis da água, descarga líquida, descarga sólida e parâmetros de qualidade da água.

No caso específico dos sedimentos fluviais, quantidade de partículas minerais transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas, deve-se desenvolver métodos para se obter uma resposta quanto a sua concentração. As amostras devem ser coletadas juntamente com informações hidrológicas de vazão, nível de água e velocidades de modo a possibilitar a estimativa de carga (CARVALHO; FILIZOLA JÚNIOR, 2000).

O homem, através de suas atividades, influencia consideravelmente o processo de sedimentação natural. Esta influência tanto pode ser benéfica como danosa para seu próprio bem-estar. Um dos resultados gerados por estas atividades é a formação de erosão, que além de produzir sedimento prejudicial, pode causar sérios danos locais nas terras agrícolas pela redução da fertilidade e produtividade do solo. A qualidade dos cursos de água que compõem uma bacia hidrográfica também está relacionada com o uso do solo na bacia. O crescimento demográfico reflete numa maior necessidade de produção de alimentos com a incorporação de novas áreas agrícolas, maior ocupação de superfícies para a urbanização, desmatamento entre outras obras,

estando assim diretamente relacionado com alterações que ocorrem na vegetação e no solo. A formulação de um projeto de controle de sedimentos inclui vários métodos para redução dos danos e um desses métodos é o controle de erosão das áreas de origem de sedimento (CARVALHO, 2008).

Sendo assim, a erosão é uma importante questão ambiental que afeta diretamente a sociedade, pois reduz a capacidade de reservatórios, contribui para o assoreamento dos rios intensifica o transporte de poluentes agregados às partículas de sedimentos e reduz o potencial da produção agrícola em áreas agricultáveis, devido aos processos de desprendimento e arraste de partículas (SILVA; SANTOS, 2008).

Nas últimas décadas, diversos modelos numéricos têm sido utilizados em estudos de avaliação do uso do solo e suas influências nos processos de escoamento superficial e subterrâneo, desprendimento, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Recentemente, modelos hidrossedimentológicos vêm sendo cada vez mais aplicados na medição e na estimativa da produção de sedimentos em escalas cada vez maiores, trazendo significativas contribuições para a gestão dos recursos hídricos (SILVA; SANTOS, 2008).

Os estudos acerca da descarga sólida em suspensão na Bacia Hidrográfica do rio Sapucaí são recentes e foram, sobretudo, impulsionados pelas constantes cheias que afetavam diretamente as cidades do entorno desse importante curso d'água localizado em território Paulista e Sul Mineiro, na Serra da Mantiqueira. Neste sentido a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) destaca-se pela iniciativa, no monitoramento das cheias e alertas da ocorrência de alagamento na região pelo curso principal – do rio Sapucaí, ou seus afluentes.

A UNIFEI, em parceria com empresas da região e através de seus grupos de pesquisa, desenvolveu e continua a desenvolver estudos acerca da drenagem, descarga sólida e líquida, qualidade de água, impactos ambientais, influência antrópica e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Sapucaí de maneira a monitorar e auxiliar na gestão de uma melhoria na qualidade ambiental e conseqüentemente da qualidade de vida das populações dessa bacia.

Assim, esses estudos possibilitam melhor compreensão da dinâmica e importância que o rio Sapucaí tem para a região do Sul de Minas, sobretudo nos municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, as quais usufruem dessas águas para consumo humano, para fins industriais e/ou comerciais como extrativismo mineral (dragagem de areia para construção civil) e animal (ictiofauna) e para fins recreativos e de lazer (pesca esportiva). Esses estudos

contribuem ainda para uma melhor caracterização da bacia em termos de descarga sólida de sedimentos em suspensão, evidenciando seus principais impactos positivos e negativos na região em estudo.

1.2 . Justificativa

Uma vez que os estudos sobre a descarga sólida em suspensão na Bacia Hidrográfica do rio Sapucaí são recentes, novos estudos acerca da drenagem, descarga sólida e líquida, qualidade de água, impactos ambientais, influência antrópica e ocupação do solo na bacia hidrográfica possibilitam melhor compreensão da dinâmica do rio Sapucaí na região do Sul de Minas.

O rio Sapucaí é de fundamental importância para o abastecimento de cidades que o margeiam, tais quais Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre. Não obstante a isso, sabe-se também que devido à ocupação desordenada das zonas alagáveis na bacia hidrográfica, o mau uso do solo, diversas modificações no curso natural desse rio e de seus principais afluentes, tornaram o Vale do Sapucaí uma área de constantes eventos de cheias, enchentes com repercussão em todo o Brasil.

Assim, é notável a necessidade de estudos acerca da descarga sólida transportada pelo rio Sapucaí, uma vez que esta pode revelar áreas de assoreamento, zonas de intensa erosão na bacia hidrográfica, entre outros impactos ambientais que tem relação direta com a incidência de enchentes na região.

É neste sentido que o presente trabalho visa contribuir ainda mais para caracterizar a bacia do rio Sapucaí em termos de descarga sólida de sedimentos em suspensão, criando uma curva-chave de sedimentos, e evidenciar os principais impactos positivos e negativos nas regiões afetadas pelo transporte de sedimentos nos cursos d'água da área em estudo.

1.3 . Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Avaliar de forma quantitativa a concentração de descarga sólida em suspensão presente nos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí, através da coleta de amostras realizada em pontos predeterminados, de forma a quantificar a

influência da descarga de sedimentos na qualidade dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí e sua relação com os regimes de cheia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Avaliar quantitativamente a concentração de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, criando uma curva-chave de sedimentos;
- Contribuir para o aprimoramento do Sistema de Monitoramento de Enchentes da UNIFEI.

Capítulo 2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ciclo Hidrossedimentológico

Em seu movimento rumo à saída de uma bacia hidrográfica, a água interceptada flui sobre as rochas e os solos que formam ou revestem as vertentes e as calhas da rede de drenagem. Os obstáculos encontrados determinam os caminhos que ela vai seguir e a velocidade com que se deslocará, e dissipam boa parte de energia de que está provida. Os sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos acabam provocando o remanejo e a redistribuição, pela bacia, de massas de partículas sólidas, a ponto de poderem eventualmente alterar o ciclo hidrológico e certamente afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos.

Desta forma, paralelamente ao ciclo da água, existe outro ciclo aberto, extremamente vinculado ao ciclo hidrológico e deste totalmente dependente, que envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia. Este é chamado de ciclo hidrossedimentológico, apesar dos sedimentos não poderem voltar ao meio de onde provém.

A gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação dos solos, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estuarinos, ou de contaminação dos sedimentos por produtos químicos, levaram a reconsiderar essa postura e dar maior atenção aos problemas que podem decorrer das alterações do ciclo hidrossedimentológico natural.

A falta de controle na remoção de sedimentos das bacias hidrográficas leva-se a prejuízos e a altos custos decorrentes dos impactos que geram efeitos negativos. Nas regiões tropicais e subtropicais, nas quais a maior agressividade dos regimes pluviométricos faz com que esses fenômenos sejam naturalmente mais intensos que nas regiões temperadas, é de se esperar que o desequilíbrio do ciclo hidrossedimentológico tenha potencialmente conseqüências ainda mais prejudiciais (TUCCI, 2007).

2.1.1. Processos e componentes do ciclo hidrossedimentológico

De acordo com TUCCI (2007), da mesma forma que se é possível diferenciar os principais fenômenos que compõem o ciclo hidrológico (precipitação, evaporação, infiltração, ESTUDO DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NOS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SAPUCAÍ

etc), é também possível identificar os processos que regem o deslocamento de partículas sólidas, que em conjunto constituem o ciclo hidrossedimentológico. Esses processos são definidos como: desagregação, erosão, transporte, sedimentação, depósito e consolidação.

Desagregação – A desagregação se refere ao desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte; ela pode-se dar sob forma de reações químicas, flutuações de temperatura, ações mecânicas ou outros fatores naturais que não envolvem diretamente o ciclo hidrológico. Mas o impacto das gotas de chuva sobre o solo é o processo que após a ação do homem, mais contribui para a desagregação. Estes processos resultam em uma massa de partículas sólidas que ficam expostas à ação do escoamento superficial das águas de chuva que não se infiltram no solo ou foram evaporadas, formando desta forma um estoque de material sólido susceptível a se movimentar por ação das águas superficiais ou outros processos de escoamento. Dele provém todas as partículas sólidas que serão remanejadas pela ação das águas, exceção feita àquelas transportadas ou depositadas pelo vento, e que a água pode encontrar no seu caminho rumo ao oceano.

O estoque de material sólido constituído por estes processos é composto de elementos de vários tamanhos e formas entre os quais costuma-se distinguir alguns grupos principais apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Tamanho dos materiais desagregados.

Material	Tamanho
Argila	$d^* < 0,002 \text{ mm}$
Silte	$0,002 < d < 0,060 \text{ mm}$
Areia	$0,060 < d < 2 \text{ mm}$
Cascalho	$2 \text{ mm} < d < 60 \text{ mm}$
Seixo	$60 \text{ mm} < d < 200 \text{ mm}$
Pedras / pedregulho / matacão	$d > 200 \text{ mm}$

* d = diâmetro. Fonte: TUCCI (2007)

As partículas ou conjuntos formados por estas que assim se desprenderam do seu meio de origem, encontram-se na superfície do solo ou nas paredes dos leitos cavados pelas águas superficiais, mas podem eventualmente encontrar-se no próprio escoamento como no caso das partículas mais finas arrancadas pelo impacto das gotas de chuva e levadas pelo escoamento.

Erosão – Processo de deslocamento das partículas sólidas de seu ponto de origem das partículas sólidas da superfície do solo ou das paredes dos leitos dos córregos e rios, sob efeito do escoamento. Esse escoamento ocorre quando as forças hidrodinâmicas exercidas pelo escoamento sobre uma partícula ultrapassam a resistência por ela oferecida, que tem sua origem principalmente no peso das partículas e na força de coesão. A coesão constitui a força de resistência por excelência das partículas mais finas, enquanto o peso das partículas é a principal força resistente para as areias e o material mais graúdo. No primeiro caso, os sedimentos são qualificados de coesivos e no segundo de não coesivos ou granulares.

Transporte – O processo de transporte de material erodido pela água pode ocorrer de várias formas. As partículas mais pesadas deslocam-se sobre ou junto ao fundo por rolamento, deslizamento ou por saltação, e constituem a chamada descarga sólida de fundo ou arraste. As mais leves deslocam-se no seio do escoamento e constituem a descarga sólida em suspensão. Estas podem provenir da bacia vertente, ou do fundo e paredes da calha, enquanto o arraste é exclusivamente constituído de material encontrado no fundo.

A **Figura 1**, que mostra os resultados de análises granulométricas para o leito do rio São Francisco - Morporá, onde são apresentadas as porcentagens de material significativo. Pela observação das curvas granulométricas, pode-se ver que o material em suspensão nos diversos postos dos cursos d'água é constituído por maior quantidade de argila e silte, enquanto o leito é de areia fina a grossa.

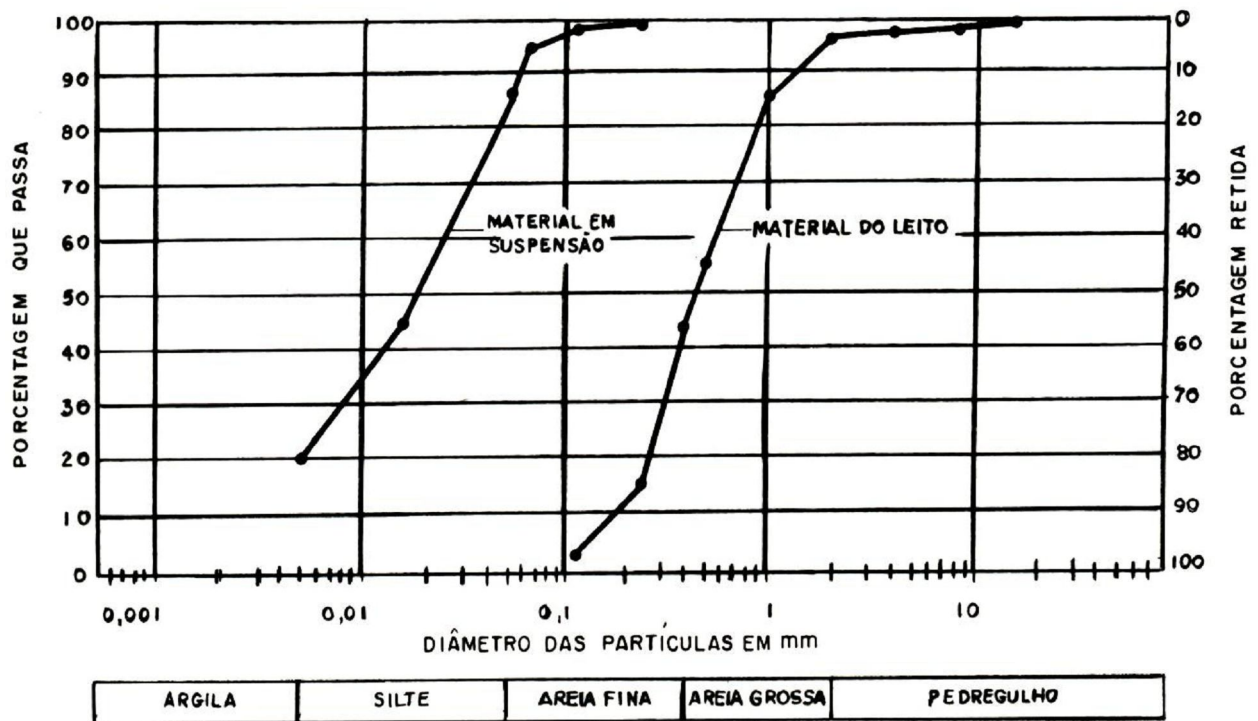


Figura 1. Curva granulométrica de material em suspensão e do leito. Fonte: CARVALHO (2008).

Sedimentação – Processo no qual as partículas mais finas transportadas em suspensão, tendem a restabelecer contato com o fundo do leito sob ação da gravidade. Neste processo verifica-se a resistência do meio fluido em que está envolto, que as impede ou freia sua queda para o fundo, sobretudo por efeito da turbulência.

Depósito – Entende-se por depósito a parada total da partícula em suspensão recém decantada sobre o fundo, ou daquela transportada por arraste. Embora por algumas vezes confundida com a sedimentação, esta se difere, pois uma partícula recém-decantada pode continuar movimentando-se após entrar em contato com o fundo, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes rente ao fundo.

Consolidação – A consolidação é formada após depósito das partículas. Designa o acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos, da pressão hidrostática ou qualquer outro fenômeno que venha a aumentar a densidade dos depósitos (efeito do esvaziamento de uma represa, por exemplo).

A erosão e o depósito são os processos que mais se sobressaem pela maior importância de suas ocorrências e por seu papel-chave na redistribuição dos sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007).

A trajetória de partículas sólidas ao longo do ciclo hidrossedimentológico é ilustrada na **Figura 2**.

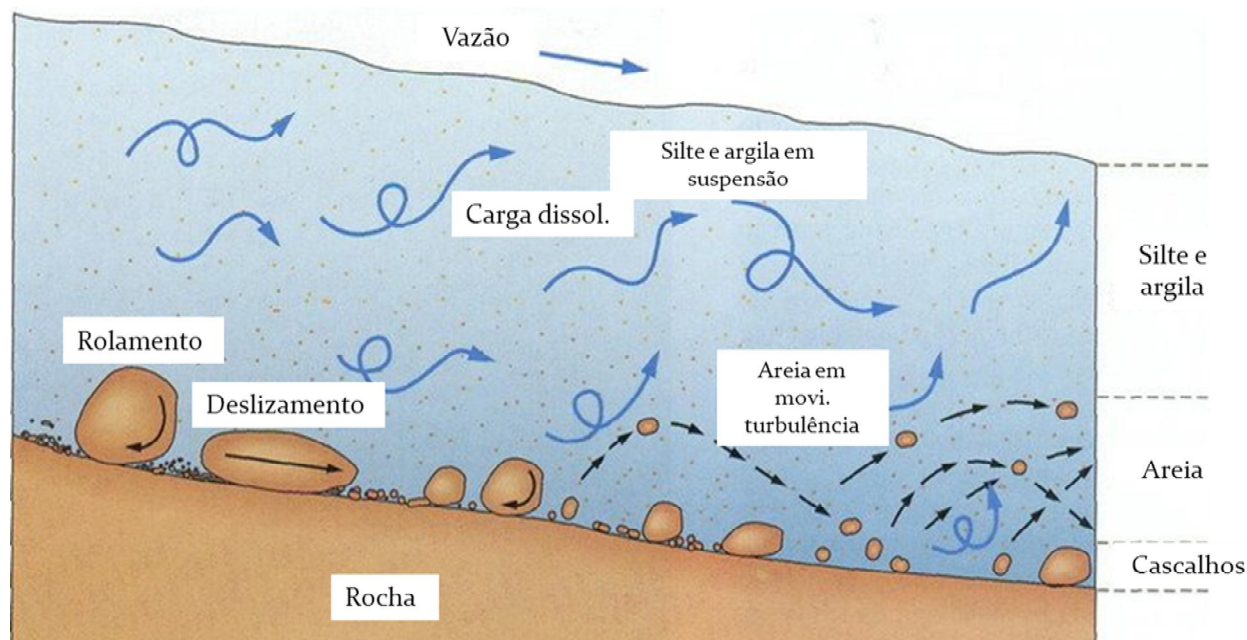


Figura 2. Trajetória de partículas sólidas ao longo do ciclo hidrossedimentológico.

2.2. Importância do Estudo de Sedimento

O estudo de sedimento tornou-se de grande importância para a engenharia, a fim de identificar os problemas relativos a estas partículas que são transportadas por fluídos, carregadas do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição. Seu estudo é de vital interesse na conservação, desenvolvimento e utilização dos solos e recursos hídricos. Os processos sedimentológicos que ocorrem na natureza têm sido acelerados e intensificados pela atividade humana, destacando-se o uso inadequado do solo, o desmatamento, a urbanização, atividade agropecuária e alteração dos cursos dos rios (BRITO et al., 2009).

Esse estudo tem ajudado também na solução de problemas como assoreamento de reservatórios, mudança da seção do rio, diminuição da qualidade da água. Para tanto se torna indispensável a coleta dos dados de campo. Conforme PAIVA et al. (2000), o conhecimento do

aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas.

Os problemas causados pelos sedimentos são inúmeros, como por exemplo, o assoreamento de rios, aumentando as dimensões de enchentes, o assoreamento de reservatórios, diminuindo sua vida útil, comprometimento do rio para abastecimento e para irrigação, entre outros (SCAPIN & PAIVA, 2005). Os problemas dependem da quantidade e da natureza dos sedimentos, fatores estes que são dependentes dos processos de produção, transporte e deposição, o que equivale dizer que os sedimentos causam três tipos de prejuízo: no local de origem, no trecho onde transitam e no local de sua deposição (BRANCO, 1998).

O conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão (massa de sedimento em suspensão na água por unidade de massa da mistura por unidade de volume) é importante para a avaliação das conseqüências da intervenção humana na bacia hidrográfica (erosão devido ao desmatamento, atividades agrícolas ou de mineração), no assoreamento de barragens, para o caso de estuários, no estudo do escoamento de canais de acesso e berços de atracação em portos.

Além da concentração dos sedimentos em suspensão, sua composição nos rios fornece informações valiosas para a comunidade de investigação geoquímica (VIERS et al., 2009). Análise quantitativa e qualitativa da carga de sedimentos suspensos realizadas nos principais rios permite:

- avaliar a reciclagem da crosta continental;
- estimar as taxas de desnudação dos continentes (WALLING & FANG, 2003; WALLING, 2006),
- restringir os principais parâmetros de controle destas taxas de desnudação do solo e a influência antrópica, uma vez que estes sedimentos oferecem grandes superfícies específicas para a sorção de metais provenientes de atividades humanas (AUDRY et al., 2006).

Segundo CARVALHO (1995), um diagnóstico sedimentológico realizado na bacia do rio São Francisco, mostrou que o aumento da produção de sedimentos está sendo causado pela urbanização e mineração na bacia, pelo aumento de áreas agrícolas para a produção de alimentos e pela construção de estradas, aliados à presença de fortes chuvas.

Neste sentido, o estudo e a compreensão dos fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas de solo são de grande importância, pois servem como ponto de partida para elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, sem os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

2.3. Efeitos dos Sedimentos ao Meio Ambiente

Todas as fases da sedimentação, erosão, transporte, depósito e compactação geram efeitos positivos e negativos sobre o ambiente.

Segundo LIMA (2007) e CARVALHO (2008), os principais efeitos negativos da presença dos sedimentos no corpo d'água são:

- Os sólidos em suspensão afetam desfavoravelmente os peixes, pois:
 - Atuam diretamente sobre os mesmos provocando a redução de sua taxa de crescimento e resistência às moléstias, bem como causando sua mortalidade;
 - Impedem o desenvolvimento de ovos e larvas;
 - Modificam os movimentos migratórios naturais;
 - Reduzem a abundância de alimento disponível;
 - Diminuem a ictiofauna.
- Os materiais suspensos aumentam a turbidez, reduzindo a penetração de luz na água, diminuindo a profundidade da zona fotossintética e prejudicando, assim, a cadeia primária e os alimentos para os peixes; adicionalmente, a superfície d'água é aquecida devido à maior absorção de calor pelo material particulado, impedindo uma mistura vertical; tal redução da mistura decresce a dispersão de oxigênio dissolvido e de nutrientes em regiões mais profundas da água.
- O sedimento é um poluente.
- Diminui ou paralisa, temporária ou permanentemente, o crescimento das plantas quando se deposita em terras produtivas, devido à obstrução dos poros ou vazios do solo.
- Altera ou destrói a vida aquática.
- O aumento da turbidez na água reduz a qualidade estética do curso d'água.

- Degrada o uso consumptivo da água.
- Atua como portador de outros poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados.
- Atua como portados de bactérias e vírus.
- A formação de delta no reservatório, ou mesmo nos depósitos marginais ao lago, permite condições propícias de formação de brejos e vegetação típica que facilitam o aparecimento de mosquitos e fatores insalubres à vida humana.
- Substâncias químicas e resíduos são assimilados por fora e no interior do sedimento; trocas de íons ocorrem entre soluções e o sedimento.
- O sedimento é um suporte e armazenador de resíduos pesticidas, fósforos adsorventes, nitrogênio e outros componentes orgânicos.
- Profundidades alcançadas por depósitos de sedimentos, menores que 2 a 2,5 m, favorecem o crescimento de plantas aquáticas. Esse fato resulta na destruição de áreas de desovas de certas espécies de peixes, bem como de áreas de pesca, sendo que a operação de barcos em tais áreas se torna difícil; propriedades marginais aos lagos e reservatórios têm seu valor depreciado em posições com vegetação desse tipo.
- Correntes de densidade em reservatórios afetam a temperatura e a qualidade da água, podendo prejudicar a vida do peixe.

Como efeitos benéficos do sedimento ao meio ambiente, podemos citar:

- Permite um meio onde as reações químicas podem ocorrer em condições favoráveis.
- Permite ser um meio condutor de microorganismos ou matéria orgânica diversa que melhora a fauna fluvial e marinha.
- Atua como redutor de outros poluentes, melhorando dessa forma a qualidade da água.
- Forma uma camada fértil na parte superior do solo nos campos, várzeas ou áreas de inundação, devido à deposição de matéria orgânica em ocasião de enchentes.

2.4. Problemas Gerados pelos Sedimentos

Os problemas gerados pelos sedimentos, apresentados a seguir, são muitos e variados, estando presentes nas diversas fases, desde a erosão, transporte, deposição e consolidação.

2.4.1. Problemas devido à erosão

A erosão se constitui no início de todos os problemas derivados do sedimento no meio ambiente. Além de produzir sedimento prejudicial, também pode causar sérios danos nas terras agrícolas pela perda gradual da fertilidade do solo. Os sedimentos erodidos desses locais vão formar depósitos indesejáveis em outras posições. Assim sendo, ao investigar os fenômenos de erosão, permite-se aprimorar a dinâmica hidrológica nos cursos d'água (LANA, 2008).

A perda de solo que ocorre na área de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada com o uso e manejo do solo, e os sedimentos originam-se de um processo de erosões que geralmente ocorrem no solo por diferentes formas de ação (FIGUEIREDO, 1989).

O processo de erosão gera uma série de impactos ambientais que não ocorrem apenas a nível local, mas também em grandes áreas. O material que é erodido de uma bacia hidrográfica pode causar o assoreamento de rios e reservatórios. Além disso, as partículas transportadas pela água em uma área agrícola podem estar contaminadas por defensivos agrícolas e poluir as águas dos rios. O desmatamento e a erosão podem provocar o desaparecimento de mananciais, bem como acentuar os efeitos das inundações.

Segundo CARVALHO (2008) ocorrem duas formas de erosão: a geológica e a acelerada. As duas formas são causadas por agentes ativos e passivos na qual podemos citar principalmente a água, o tipo de solo e formações superficiais, cobertura vegetal e ações antrópicas. A erosão geológica é processada normalmente, envolvendo a retirada das partículas e o seu transporte sem intervenção humana e é aquela que modela as formações que atualmente nos rodeiam. A erosão acelerada é aquela induzida pelo homem devido a modificação do meio.

As águas da chuva podem dar origem a vários efeitos, dependendo de sua intensidade, quantidade, duração e frequência. Uma chuva forte de curta duração pode provocar grandes erosões no solo, porém se a mesma precipitação ocorrer em um tempo maior, pode não causar erosão.

As ações antrópicas também têm grande importância no tipo e intensidade dos processos erosivos. Essas ações podem ser temporárias, como mal manejo do solo em agriculturas, ou contínuas, como a construção de estradas.

Em contato com a região da bacia hidrográfica do rio Sapucaí pode-se verificar o grau de degradação em determinados pontos, isto devido a fatores citados anteriormente como pode ser visto nas **Figuras 3 a 6**.



Figura 3. Foto de erosão nas margens do rio.



Figura 4. Foto da estrada junto às margens do rio.

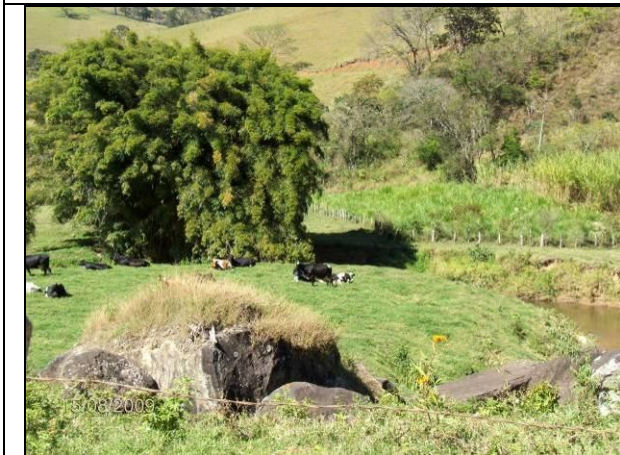


Figura 5. Foto de pecuária às margens do rio.



Figura 6. Foto de agricultura às margens do rio.

Em sumo, a erosão é o processo inicial da sedimentação, podendo-se acarretar os seguintes danos:

- A erosão nas cabeceiras dos rios provoca a destruição das nascentes;
- Aumenta o risco de desertificação;
- Em zonas agrícolas, promove a remoção da camada fértil, com o empobrecimento de solo;

- O desprendimento e escorregamento de terras e taludes podem provocar danos gerais, incluindo mortes, e às vezes, a destruição de obras;
- Altera as condições de escoamento de água na superfície e na calha dos rios;
- Desbarrancamento em rios modificam a calha e provocam depósitos no leito;
- Trabalhos de mineração em curso d'água prejudicam sobremaneira a calha do rio, provocando a degradação local e agravação a jusante;
- A erosão nas terras devido a enxurradas produz sulcos em locais indesejáveis;
- A erosão em torno das estruturas pode provocar danos irreversíveis (CARVALHO, 2008).

2.4.2. Problemas devido ao transporte de sedimentos

O sedimento é transportado pelo curso de água tanto em suspensão quanto no leito, com partículas que rolam ou deslizam, ou mesmo em trocas, com partículas que saltam e voltam ao leito. É possível listar os seguintes problemas:

- As partículas de sedimentos degradam o uso consumptivo da água, aumentando o custo de tratamento;
- O sedimento degrada a água especificamente para abastecimento, recreação, consumo industrial, resfriamento, em hidroelétricas e vida aquática;
- O aumento da turbidez da água reduz a qualidade estética do curso d'água;
- O sedimento em suspensão impede a penetração da luz e calor, reduzindo a atividade fotossintética necessária à salubridade dos corpos de água;
- Quando aumenta o sedimento fino em suspensão, diminui a população de peixes nos rios, sobrevivendo apenas aqueles de espécies resistentes;
- O sedimento atua como portador de poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados;
- Atua como portador de bactéria e vírus;
- A carga sólida provoca perturbação na forma do canal;
- O sedimento do leito dos rios, mesmo em movimento pode prejudicar a navegação ou elevar o nível da água, provocando enchentes locais mais freqüentes;

- Areia em suspensão produz abrasão em turbinas e máquinas diversas e comportas, quando as partículas se movem em alta velocidade, produzindo redução de eficiência ou inutilizando a peça;
- Enchentes torrenciais deslocam matacões e pedras que prejudicam, por colisão, obras hidráulicas, árvores, cercas, linhas telefônicas, edifícios e outros objetos em sua passagem (SOUZA, 2005 e CARVALHO, 2008).

2.4.3. Problemas devido ao depósito de sedimentos

O depósito de sedimentos pode ocorrer tanto próximo ao local da erosão como em locais distantes. Esses depósitos podem ser em locais planos, em canais, planícies de inundação, reservatórios, deltas, estuários ou no oceano. O sedimento pode causar danos, dependendo da quantidade, qualidade e local de deposição. Podemos citar os seguintes problemas ou danos (CARVALHO, 2008):

- O depósito em reservatórios pode provocar o seu assoreamento, reduzindo o volume de água, a regularização do curso de água e a vida útil do lago;
- Pode assorear obras de arte, tomadas d'água e outras estruturas fluviais; pode assorear as calhas dos rios prejudicando a navegação pela redução da profundidade, ou aumentar os riscos de enchente pela redução de capacidade do canal;
- Em cursos de água assoreados, a água em nível mais elevado provoca erosão de margens;
- Materiais danosos depositados em terras de fazendas, no pé dos declives ou em terraços férteis podem reduzir a fertilidade dos solos se a cobertura de sedimentos não tiver nutrientes, algumas vezes soterrando valiosos cultivos;
- O sedimento depositado em algumas áreas reduz a drenagem superficial;
- Sedimentos depositados em canais de irrigação e de drenagem, em canais de navegação e de escoamento de enchentes, em reservatórios e portos, em ruas, estradas e edificações não somente criam transtornos, mas também impõem altos custos públicos de serviços de manutenção;

- Quando o sedimento se deposita em áreas produtivas, diminui ou paralisa, temporária ou permanentemente, o crescimento das plantas;
- O sedimento fino, depositado com lama, em portos, áreas de recreação, locais de pescadores ou outros locais onde pode haver uma concentração e uso do curso d'água, lago ou reservatório, por pessoas, afasta os usuários devido à aversão à lama. Já o depósito no leito, sem nutrientes, afasta peixes e microrganismos.
- O sedimento, em ocasião de enchentes pode cobrir rodovias, danificar propriedades, áreas urbanas, ruas gramados e jardins;
- Os diques naturais que se formam pouco a pouco nas margens dos rios costumam apresentar um depósito de material fino na sua base, tirando a permeabilidade do solo e favorecendo a formação de área encharcada na zona de várzea, tanto devido ao dique quanto à impermeabilidade.
- O sedimento que se deposita em canais é constituído de material fino, permitindo o crescimento de vegetação, prejudicando o escoamento;
- O sedimento que se deposita em canais de irrigação cria sérios problemas devido à elevação do nível d'água, redução do volume d'água e danos às plantações; a obstrução de desvios e escoadouros com sedimento também reduz a quantidade de água disponível;
- Inundação com sedimento grosso em áreas irrigadas reduz a fertilidade dos solos, enquanto o sedimento coloidal reduz a permeabilidade, sendo que os dois reduzem a fertilidade das terras irrigadas;
- O assoreamento de lagos dificulta ou impede totalmente o pouso de hidroaviões.

Segundo VANZELA (2004), diante de tantos problemas, vê-se ainda que com o assoreamento dos rios, e a redução da velocidade do fluxo e a vazão dos mananciais, tem-se grandes prejuízos ecológicos e financeiros. Este fato faz com que o Brasil perca anualmente cerca de 822 milhões de toneladas de solo e 170 bilhões de metros cúbicos de água, o que corresponde a um prejuízo estimado de 13 bilhões de reais por ano.

2.5. Benefícios Trazidos pelos Sedimentos ao Meio Ambiente

O homem transforma os sedimentos que remove em outros materiais de uso benéfico, como é o caso da obtenção da cal, cimento, ferro, ouro e todo o trabalho de minério ou mineração. Também há a preparação de tijolos, telhas e artefatos de barro. O Brasil é um dos países mais ricos em minério de ferro, transformando essa exploração em divisas para o país (CARVALHO, 2008).

Pode-se citar outros benefícios derivados do sedimento:

- O sedimento em suspensão reduz a ação erosiva da água no escoamento de rios;
- Atua como redutor de outros poluentes, melhorando desta forma a purificação da água;
- Permite que seja um meio no qual as reações químicas podem ocorrer;
- Permite que seja um meio condutor de microorganismos ou matéria orgânica diversa que melhora a fauna fluvial;
- Os depósitos formados nos campos podem constituir camada superior de solo devido à deposição em ocasião de enchentes, sendo benéficos se a camada depositada tiver nutrientes;
- Sedimentos com material fértil natural podem ser recuperados e colocados para uso benéfico em jardins, canteiros e outras pequenas áreas de plantação;
- Sedimentos de granulometria adequada, incluindo pedras e matacões, são usados em construções, argilas são usadas como impermeabilizantes, as areias como filtros, pedregulhos em massa de concreto e pedras como enrocamento na construção de barragens, silte, areia e pedregulho são usados no concreto e argamassas para construção em geral;
- Sedimentos podem ser usados em aterros para terraplanagem.

2.6. Controle de Sedimentos

O controle de sedimentos apresenta várias implicações nos mais diferentes campos da engenharia. Surge a partir da necessidade de se proteger as obras e o patrimônio nelas envolvido bem como a natureza sob os aspectos ambientais.

Em geral, o controle de sedimentos lida com medidas preventivas e corretivas, sendo as primeiras mais eficientes e econômicas. Medidas corretivas geralmente são aplicadas por falta de previsão e adotadas em condições tais que os prejuízos materiais e financeiros já se faziam intoleráveis. As mais eficientes são aquelas efetuadas no controle da erosão. Evitar a erosão ou reter o sedimento antes dela entrar no curso de água são as primeiras providências.

O sedimento depositado em posições inconvenientes necessita de remoção ou de uma solução adequada que nem sempre é adotada devido aos custos. Por outro, lado o sedimento erodido, pode ter deixado um solo empobrecido para culturas ou, no mínimo, uma área desprotegida, sujeita a maiores problemas (CARVALHO, 2008).

2.6.1. Controle de sedimentos na bacia hidrográfica

A proteção da bacia hidrográfica é ponto fundamental no uso adequado de suas potencialidades, isso inclui gerenciamento e desenvolvimento e baseia-se nas seguintes proposições (CARVALHO, 2008):

- Aproveitar cada pedaço de terra da bacia dentro de sua capacidade para uso sustentado, sem deterioração dos recursos de solo inerentes;
- Aplicar práticas vegetativas e de manutenção mecânica em cada pedaço de terra como uma necessidade de prevenção da deterioração do solo e para obter um ótimo gerenciamento do solo, água e vegetação;
- Proteger contra enchentes e controlar a produção de sedimentos para alcançar: maximização dos benefícios econômicos, a partir da redução das inundações e danos de sedimentos em áreas de planícies, redução da deposição de sedimentos em portos e reservatórios e outras formas de danos do sedimento, melhoramento da qualidade da água e objetivos relacionados;

- Desenvolver o uso dos recursos hídricos para o alcance adequado a satisfazer no presente e no futuro previsível as necessidades de abastecimento municipal e industrial, irrigação, drenagem, melhorando a vida aquática e animal, recreação, gerenciamento da qualidade d'água e fins relativos;
- Melhorar e gerenciar a cobertura vegetal com árvores e pastos, para madeiramento e produção de alimentos no campo, tão bem quanto à proteção da bacia, onde tal cobertura representa um ótimo uso da terra;
- Desenvolver a mais efetiva combinação econômica de praticas vegetativas e manutenção mecânica da terra para influência benéfica do efeito da precipitação onde atinge a terra; e medidas estruturais, isto é, reservatórios e manutenção de canais para controle de movimento do escoamento superficial;
- Alcançar um equilíbrio no gerenciamento da água, da área de drenagem e a bacia hidrográfica. Os objetivos primários de programas de proteção, em termos abrangentes são: preservação e uso benéfico dos recursos de solo e água, redução da erosão, inundação e danos dos sedimentos.

A proteção da bacia hidrográfica está intimamente ligada ao uso coerente dos recursos hídricos e de solo em toda bacia. O gerenciamento por bacias hidrográficas, a ser executado por entidades do governo, é, pois fundamental no aproveitamento daqueles recursos.

A implantação de programas de aproveitamento dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica gera modificações no meio ambiente, às vezes intensa e mesmo irreversíveis, podendo causar problemas futuros que dificultem o próprio desenvolvimento regional. Isso tem ocorrido e servido de exemplo para que se procure previamente efetuar estudos cuidadosos sobre impactos ambientais.

2.7. Transporte Fluvial de Sedimentos

O transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos da água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o

carregamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuante no sistema fluvial.

Um conhecimento amplo sobre os variados mecanismos de sedimentação fluvial torna-se necessário para que se possa prever, com possibilidade de êxito, o que acontecerá caso sejam modificadas as condições naturais do sistema ecológico reinante na bacia hidrográfica.

Os processos atuantes no transporte de sedimentos são compostos por materiais fornecidos pelos processos químicos, processos pluviais e movimento de massa no regolito, como esquematizado na **Figura 7**.

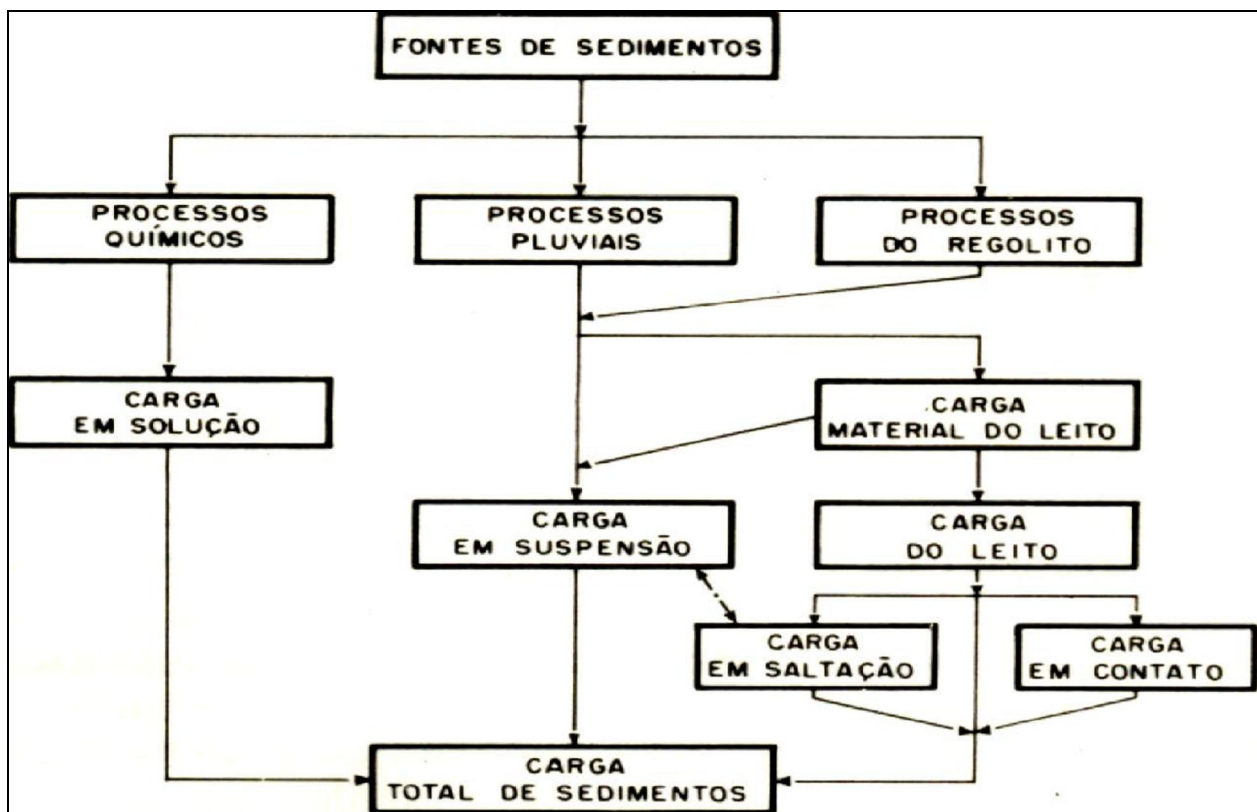


Figura 7: Processos atuantes no transporte de sedimentos. Fonte: CHRISTOFOLETTI (1981)

Os constituintes intemperizados das rochas que são transportados em solução química compõem a *carga dissolvida* dos cursos de água, porém há acentuada deficiência de informações sobre os mecanismos de transporte da carga dissolvida, quando comparada com a minuciosa focalização dirigida aos processos de transporte em suspensão e carga do leito. A *carga do leito* do rio é composta por partículas de granulometria maior, como as areias e cascalhos, que são transportados através da saltação, deslizamento ou rolamento na superfície do leito. Devido ao

volume e à densidade das partículas, a velocidade da carga do leito é muito mais lenta que a do fluxo, porque as partículas podem se deslocar de modo intermitente. As partículas de granulometria reduzida (silte e argila, por exemplo) são tão pequenas que se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento, constituindo a *carga de sedimentos em suspensão*. O transporte da carga em suspensão é controlado pelo volume de sedimentos que são fornecidos aos cursos de água, enquanto o volume de sedimentos grosseiros (carga do leito) é controlado ou limitado pela capacidade de transporte.

Dessa maneira, a carga em suspensão participa das características físicas da água, sendo carregada quase na mesma velocidade da água. Quando a turbulência atingir ao limite crítico, não tendo mais condições para manter as partículas em suspensão, elas se precipitam. A deposição da carga em suspensão pode ocorrer em trechos de águas muito calmas ou nos lagos (TUCCI, 2007).

Segundo CARVALHO (2008), conhecer o comportamento, a qualidade e a quantidade de sedimentos transportados é de fundamental importância para estudos na bacia, para projetos de obras hidráulicas, estudos ambientais e usos dos recursos hídricos, já que o sedimento no meio líquido ou no fundo do rio pode provocar diversos problemas estruturais e ambientais.

2.7.1. Capacidade de transporte

A capacidade de transporte é a quantidade máxima de sólido que um escoamento a superfície livre pode transportar e não possui um valor máximo único, assim a capacidade em suspensão será alterada pela própria carga de sedimento transportado. Entretanto a capacidade por arraste pode diminuir ou aumentar de acordo com a existência de deformações locais como rugas, dunas e outros que dissipam por atrito parcelas de energia do escoamento e que deixa de ser utilizada para transporte de sedimentos (PARANHOS, 2003).

Haverá assoreamento do curso d'água se a descarga sólida for maior que a capacidade de transporte, porém poderá ocorrer degradação (erosão) se a descarga sólida for menor que a capacidade de transporte e se o material de fundo puder ser removido, assim uma nova mudança na capacidade de transporte acontecerá, a ponto de crescer novamente, se a última condição apresentada não ocorrer.

Logo, os conhecimentos da capacidade de transporte de um escoamento e da descarga sólida são de grande importância para trabalhar com os problemas de sedimentos (TUCCI, 2007).

2.7.2. Formas de transporte de sedimentos

Segundo CARVALHO (2008), os sedimentos que chegam ao rio têm granulometria variada e terão transporte variado conforme as condições locais de escoamento. Esta variação é função do tamanho, peso e forma da partícula. Ela pode permanecer em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito. As formas de transporte podem ser definidas como:

- Carga Sólida de Arrasto: são partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo tempo.
- Carga Sólida Saltante: são partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode ser devido ao impacto de uma na outra, o rolamento de uma por cima da outra ou o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim uma pressão negativa.
- Carga Sólida em Suspensão: são as partículas que estão suportadas pelos componentes verticais da velocidade do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelos componentes horizontais destas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão, subindo e descendo na corrente acima do leito. O movimento da partícula em suspensão é mais complexo do que a do leito.

A maior parte da descarga sólida é representada pelo sedimento em suspensão, chegando a representar 95% da descarga sólida total. Por esta razão e pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte dos eventos individuais só contemplam o sedimento em suspensão (CARVALHO & FILIZOLA JÚNIOR, 2000).

2.8. Distribuição de Sedimentos no Curso de Água

É necessário considerar a variação da distribuição dos sedimentos tanto vertical, como na seção transversal, ao longo do curso d'água e em relação ao tempo. A natureza procura um equilíbrio próprio, considerado estável para o rio. Se há mudança na quantidade de descarga sólida, o rio responde reagindo conforme alterações impostas. Se a carga sólida é grande, haverá uma tendência de depósitos e ocorrerá o assoreamento do leito do rio. Ao contrário, se a carga sólida é pequena o rio responde com a degradação do leito.

Segundo CARVALHO (2008), na relação esboçada por LANE (1954) – **Equação 1**, considerada como uma regra da natureza, que estabelece um equilíbrio, pode-se averiguar se um curso d'água está no seu equilíbrio.

$$\text{Equação 1: } Q_{sa} \times D \cong Q \times I$$

Onde,

Q_{sa} = descarga do material do leito;

D = diâmetro médio das partículas do leito;

Q = descarga líquida;

I = declividade do leito.

2.8.1. Distribuição vertical de sedimentos

A partícula em suspensão está sujeita a ação da velocidade da corrente na direção horizontal predominantemente e do seu peso. Conseqüentemente, a concentração de sedimento apresenta um mínimo na superfície e um máximo perto do leito, para uma granulometria variada. As partículas mais grossas do sedimento em suspensão, que são geralmente areias, apresentam uma variação crescente da superfície para o leito. As partículas finas como silte e argila, têm uma distribuição aproximadamente uniforme na vertical conforme **Figura 8**. Foi verificado que a temperatura exerce variações na concentração de sedimentos finos em suspensão. Em águas de

temperaturas mais frias, a concentração de sedimentos finos aumenta devido à viscosidade que diminui (TUCCI, 2007).

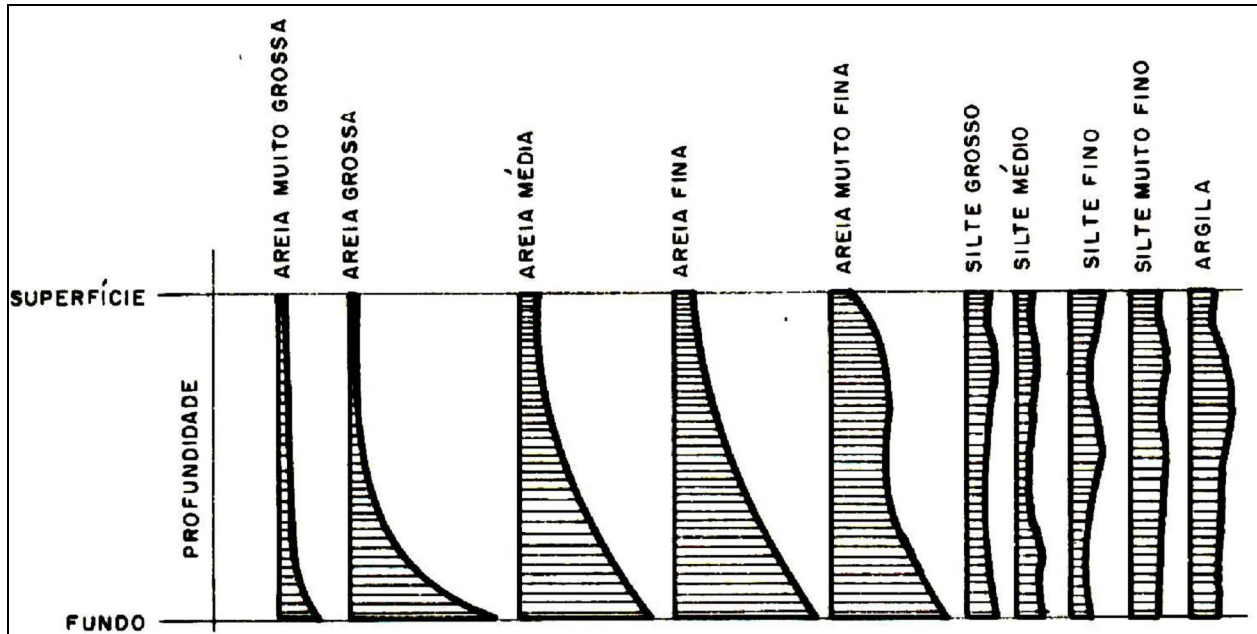


Figura 8. Distribuições verticais que podem ser encontradas num curso d'água. Fonte: CARVALHO (2008).

2.8.2. Distribuição de sedimentos na seção transversal

A distribuição de sedimentos através de uma seção transversal é variável de um lado para o outro e da superfície para o fundo, sendo melhor expressa em termos de concentração. Esta é variável em função da velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e sua granulometria. Considerando que as velocidades são menores perto das margens, as concentrações também são menores, aumentando para o centro e depois diminuindo na direção da outra margem conforme **Figura 9** (CARVALHO, 2008).

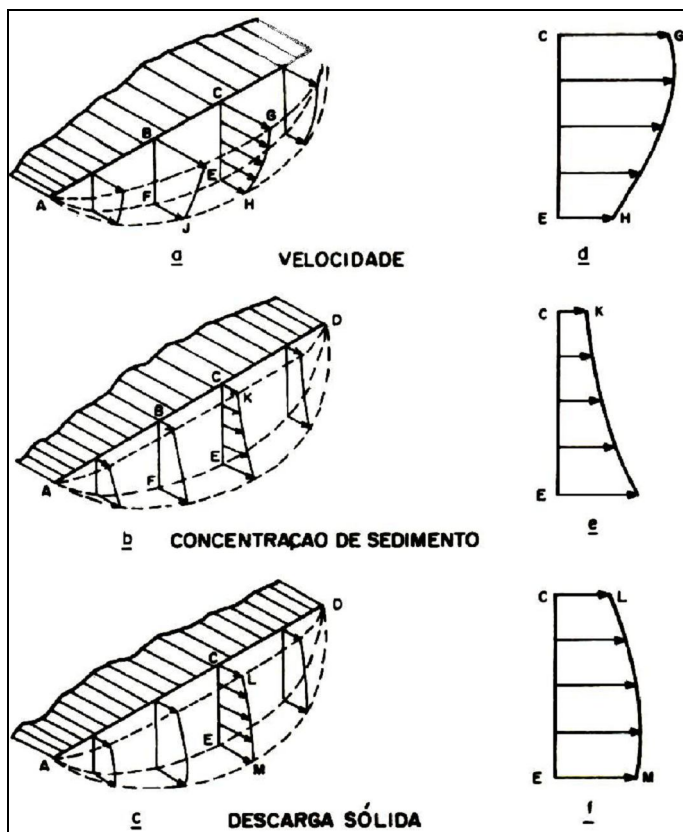


Figura 9. Diagrama de distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e descarga sólida nos cursos d'água. Fonte: CARVALHO (2008).

2.8.3. Distribuição de sedimentos ao longo do curso d'água

A distribuição longitudinal de sedimento no curso de água é melhor expressa em termos de produção de sedimento, considerando um valor médio da descarga sólida em relação a área de drenagem da bacia contribuinte.

É possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, passando a areia grossa, média e fina gradativamente para jusante, para o baixo curso. Os sedimentos mais finos são transportados em suspensão, enquanto que os mais grossos são transportados no leito. À medida que o curso de água se desenvolve para a jusante, mais material fino é produzido, sendo que parte dele vai sendo depositado nas margens em forma de lama.

O comportamento de uma bacia em relação ao sedimento é muito variável desde as partes altas até as planícies. Isso depende das rochas e solos, da cobertura vegetal, das declividades, do regime de chuvas, bem como de diversos outros fatores. Na alta bacia há maior erosão e transporte de sedimentos, esta erosão vai diminuindo para a média bacia à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos vai se distribuindo nos terrenos. Vê-se, então, que a degradação dos solos predomina na alta bacia, enquanto que a aggradação predomina na parte baixa (**Figura 10**).

Em relação ao transporte de sedimentos do rio principal, a carga em suspensão é predominantemente maior do que a de fundo (90% a 95%) no alto curso, a carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso de água também (65% a 90%) de sedimento em suspensão. A porcentagem de sedimento em suspensão e do leito é muito dependente da granulometria do sedimento transportado, assim quando há uma grande quantidade de areia, a porcentagem de sedimento transportado no leito pode até mesmo ser maior que o sedimento em suspensão (TUCCI, 2007).

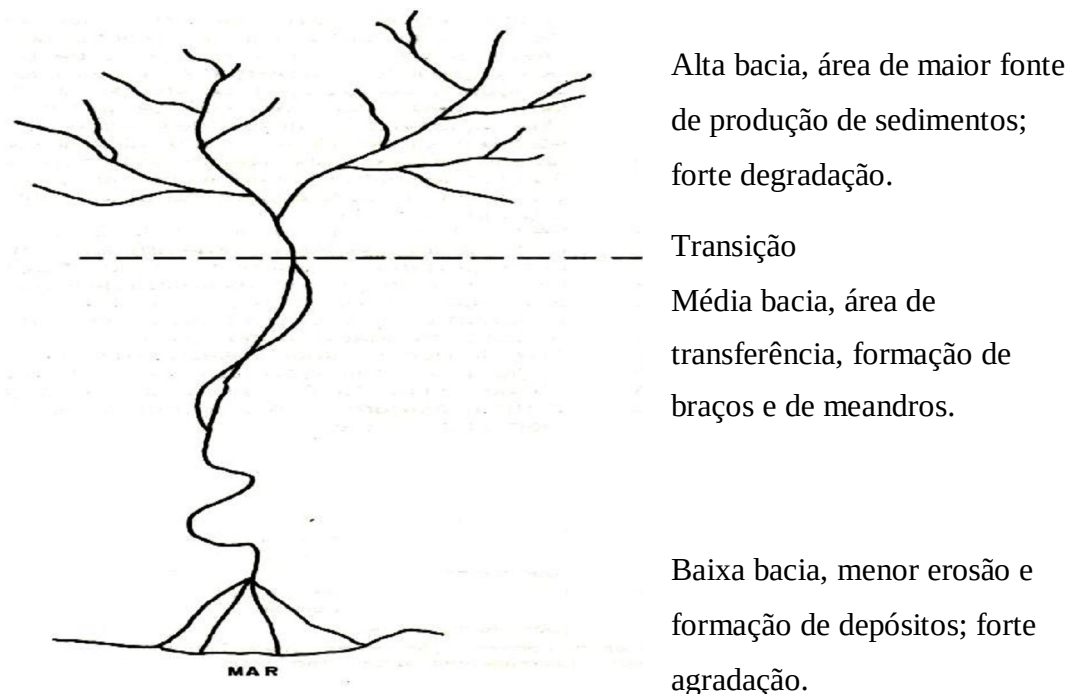


Figura 10. Relação entre bacia hidrográfica e produção de sedimentos. Fonte: CARVALHO (2008)

2.9. Medições do Transporte de Sedimentos

Para melhor retratação da realidade acerca dos sedimentos transportados por um curso d'água, devem-se efetuar medições da descarga sólida em suspensão, da descarga sólida de arrasto e da descarga sólida total.

Se o sedimento em suspensão fosse uniformemente distribuído na seção, uma amostra em qualquer ponto poderia representar a concentração. Como isso não ocorre, há necessidade de levar em conta a variação da concentração, fazendo amostragens ao longo da seção, pontuais, verticais e em um número adequado de posições.

A determinação da concentração e conseqüentemente da descarga sólida em suspensão pode ser feita por método direto - com equipamentos como o turbidímetro, ou por método indireto com equipamentos que coletam uma amostra para análise em laboratório.

A descarga sólida de arrasto é medida diferentemente da descarga sólida em suspensão, uma vez que o sedimento do leito não se move na mesma velocidade que a corrente. Essa medição da descarga de fundo pode ser efetuada por método direto, *in situ*, ou por método indireto. As medições têm de levar em conta a distribuição da quantidade de sedimentos transportados ao longo da seção transversal (CARVALHO, 2008).

Para calcular a quantidade de sedimentos que são transportados pelos cursos d'água, existem diversos métodos que, sobretudo estimam isoladamente a carga de fundo e a carga em suspensão. Assim com a **Equação 2**, obtém-se a carga total através da soma da carga de fundo e em suspensão.

$$\textbf{Equação 2: } Q_{st} = Q_{sf} + Q_{ss} + Q_{sb}$$

Onde,

Q_{st} – Descarga total de sedimentos (total *load*);

Q_{sf} – Descarga de sedimentos transportada por arrasto de fundo (*bed load*);

Q_{ss} – Descarga de sedimentos proveniente do fundo, transportada em suspensão (*suspended load*);

Q_{sb} – Descarga de sedimento transportada em suspensão proveniente da bacia hidrográfica (*wash load* ou deplúvio).

A medição da descarga de fundo é feita por dois métodos: por equipamentos do tipo armadilha, que recolhem as partículas sedimentos transportados perto do leito ou outra possibilidade é o levantamento do perfil do leito em análise temporal.

Já a medição da descarga de sedimentos em suspensão possui uma vasta gama de instrumentos disponíveis como simples amostradores mecânicos até equipamentos acústicos e ópticos mais sofisticados (LOUREIRO, 2008).

A **Figura 11** apresenta um amostrador do tipo DNS (Delft Nilo Sampler) que realiza amostragens de material do fundo e em suspensão ao mesmo tempo.

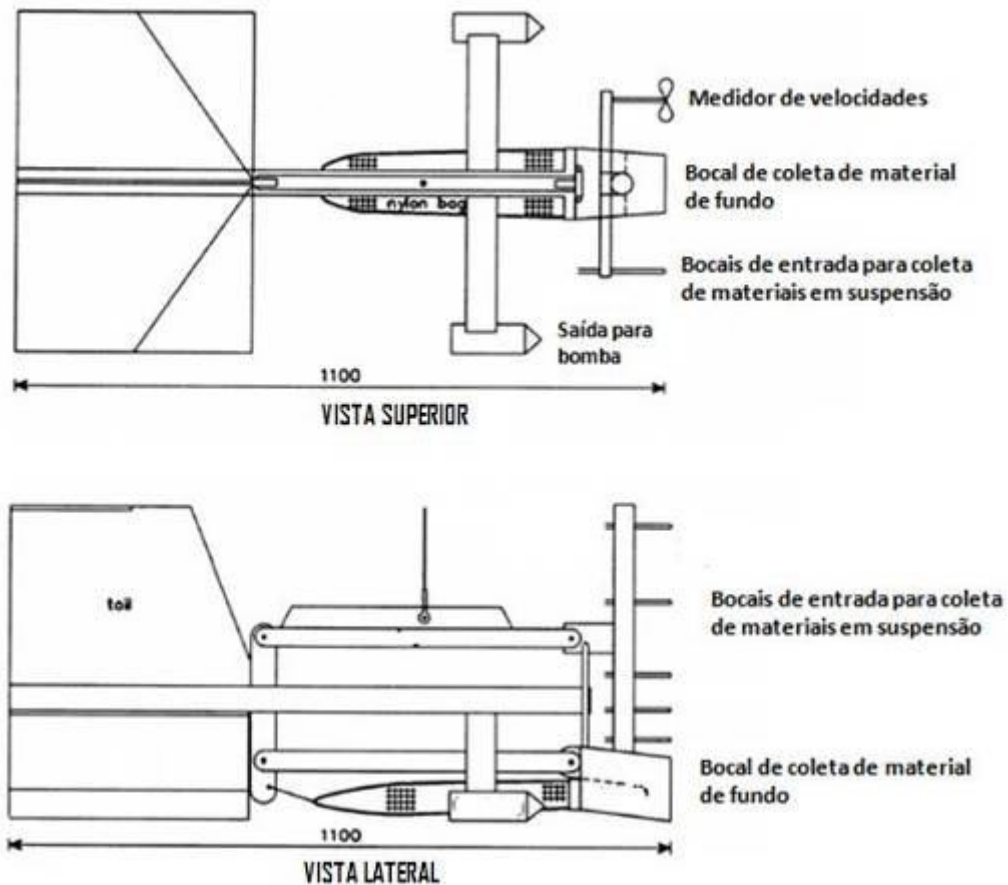


Figura 11. Amostrador DNS "Delft Nilo Sampler". Fonte: LOUREIRO (2008).

Os métodos de cálculo dividem-se em diretos – pela medição direta da concentração de sedimentos em suspensão, características hidráulicas da seção, ou trecho de rio e do material de fundo; e indiretos – através de parâmetros hidráulicos da corrente, em uma seção, ou trecho de canal. (PAIVA, 2001)

É sabido que a grande parcela do sedimento transportado nos rios corresponde às partículas em suspensão. Segundo CARVALHO (2008), estas podem representar cerca de 95% de toda a descarga sólida do curso d'água.

Deste modo, na maioria dos casos a descarga sólida em suspensão é representativa do total de sedimentos transportados pelo curso d'água.

2.10. Os Sedimentos em Reservatórios

A construção de barragens, para armazenamento de água para abastecimento, geração de energia elétrica e controle de inundações, é um elemento chave da exploração dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo. As represas são grandes responsáveis pela diminuição substancial no fluxo de sedimentos a sua jusante.

Segundo WALLING & FANG (2003), alguns estudos estimaram que mais de 40% da descarga líquida nos rios do mundo está interceptado por grandes represamentos, sendo ainda que 25% das descargas sólidas que atingiriam os oceanos estão retidas atrás das barragens.

Um exemplo importante do impacto da construção do reservatório na carga de sedimentos de um rio é o fechamento da barragem de Assuão no rio Nilo, a qual reduziu a carga de sedimentos em suspensão anual desse rio de 100×10^6 t/ano para quase zero. Um impacto similar ocorreu no rio Colorado no sudoeste dos E.U.A.. No rio Colorado atualmente as descargas sólidas estão em torno de 100.000 t/ano de sedimentos para o Golfo da Califórnia, sendo que por volta do ano de 1930, a carga era cerca de três vezes maior, sendo a descarga sólida em média de $125-150 \times 10^6$ t/ano.

Um exemplo no Brasil é a barragem de Tucuruí, no rio Tocantins, onde segundo CARVALHO, 2008, a eficiência de retenção de sedimentos inicial no reservatório foi de 90%, o que ainda deve se manter devido ao porte do lago.

2.10.1. Efeitos do assoreamento na geração de energia elétrica

Embora em países como os Estados Unidos e a China, cuja matriz energética é formada predominantemente por usinas térmicas para a geração de energia elétrica, no Brasil, segundo o Banco de Informação de Geração - BIG da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a matriz energética é formada por 68,46% ou 78.734,55 MW de potência de hidroenergia, entre Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e Central Geradora Hidrelétrica (CGH) (ANEEL, 2010).

Assim sendo, para a geração de energia hidrelétrica em rios é necessário, na maioria das vezes, a construção de barragens, as quais além de regularizar a vazão, armazenam energia potencial, que neste caso é o próprio volume de água. Logo, a capacidade dos reservatórios é um determinante crítico na utilização de sua água, porém o assoreamento reduz progressivamente a eficácia dessa utilidade.

O crescente consumo de água e energia faz com que haja a formação de um número cada vez maior de reservatórios, e conseqüentemente os problemas de assoreamento se tornam mais comuns e preocupantes.

Segundo CARVALHO (2008), um relatório emitido pelo Banco Mundial em 1987, mostra que a vida útil dos reservatórios na terra decresceu para 22 anos, avaliando-se em 6 milhões de dólares anuais o custo para promover a remoção dos volumes que vão sendo assoreados. Em 1978 a capacidade total dos reservatórios no mundo totalizavam em torno de 5.000 km³.

A porcentagem de perda de volume por retenção de sedimentos nesses reservatórios é muito variável, estando relacionada ao projeto e a magnitude da carga sólida. Assim, a perda de capacidade anual da barragem de Hoover (EUA), de 1935, tem sido de 0,3%, a do reservatório de Sanmexia (China), cerca de 1,7%, enquanto na barragem Warsak, essa perda chega a 18%. Assim, estimou-se que a redução de capacidade total anual, como valor médio mundial, tenha sido de 1%, o que corresponde a redução de volume de 50 km³ a cada ano para os reservatórios construídos até 1978.

No Brasil, a soma das capacidades de todos os reservatórios para a geração de energia elétrica está em torno de 400 km³. Considerando que a carga de sedimentos seja somente a metade do valor médio no mundo, isto é, provocando perda de capacidade de 0,5% ao ano, chega-se a conclusão que o volume total anual de assoreamento no País pode ser em torno de

2,0 km³ ($2,0 \times 10^9$ m³), volume maior que o do reservatório de Estreito (1.400×10^6 m³) no Rio Grande (CARVALHO, 2008).

Portanto, evidencia-se a necessidade dos estudos hidrossedimentológicos prévios a construção de qualquer barramento e formação de seu reservatório, de maneira a evitar que o aproveitamento venha ter problemas em tempo inferior a sua vida econômica esperada.

2.11. A Hidrossedimentologia Aplicada à Bacia do Rio Sapucaí

Avaliações hidrossedimentológicas nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí são de grande importância, porque, como descrito anteriormente, esse rio é fundamental para o abastecimento de cidades que o margeiam, tais quais Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre.

A ocupação desordenada das zonas alagáveis na bacia hidrográfica, o mau uso do solo e diversas modificações no curso natural do Rio Sapucaí e seus principais afluentes tornaram o Vale do Sapucaí uma área de constantes eventos de cheias, enchentes com repercussão em todo o Brasil.

Assim, é notável a necessidade de estudos acerca da descarga sólida transportada pelo Rio Sapucaí, uma vez que estes podem revelar áreas de assoreamento, zonas de intensa erosão na bacia hidrográfica, entre outros impactos ambientais que tem relação direta com a incidência de enchentes na região.

Neste sentido, foram desenvolvidos pela Universidade Federal de Itajubá, alguns trabalhos relacionados à descarga sólida no rio Sapucaí, na qual são desenvolvidos projetos de cunho acadêmico, durante a graduação em Engenharia Ambiental e Engenharia Hídrica desta mesma Universidade, com o objetivo de instruir os graduandos acerca de avaliações hidráulico-hidrológicas e também monitorar continuamente a situação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí.

2.11.1. Avaliação da descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí

Um dos principais trabalhos realizados na bacia do Rio Sapucaí foi publicado em 2008, na revista OLAM – Ciência E Tecnologia, de Rio Claro – SP e foi desenvolvido por Thales Leandro Berti Sarlas, James L. Maia, Alexandre A. Barbosa e Frederico F Mauad. Artigo intitulado: “Avaliação da descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí”.

Neste estudo, foi amostrada a descarga sólida em 22 seções transversais de 7 cursos d'água da região, são eles: os rios Lourenço Velho, Santo Antônio, Vargem Grande e os ribeirões José Pereira, Anhumas, Piranguçu e trechos do Rio Sapucaí.

Este trabalho confirmou que a ocupação humana interfere diretamente nos valores de concentração média de sedimentos da região, que variaram de 8,9 mg/L a 1.704,1 mg/L na área de maior ocupação do solo.

A concentração média de sedimentos em suspensão, descarga líquida e sólida em suspensão nas seções estudadas encontram-se na **Tabela 2**:

Tabela 2: Dados hidrossedimentológicos da bacia hidrográfica do rio Sapucaí obtidos por MAIA (2005)

Seção	Curso d'água	Data	S (mg/L)	Q (m³/s)	Q _{ss} (t/dia)
Nascente	Ribeirão de José Pereira	19/07/2005	8,861	0,017	0,01
Igreja São Francisco de Assis	Ribeirão de José Pereira	20/08/2005	38,856	0,042	0,14
Bairro Pinheirinho	Ribeirão de José Pereira	19/08/2005	108,153	0,320	2,99
Bairro da Barra	Rio Lourenço Velho	21/07/2005	319,551	3,000	82,83
Bairro do Rio Manso	Rio Lourenço Velho	03/08/2005	360,122	6,710	208,78
Bairro Ano Bom	Rio Lourenço Velho	25/07/2005	673,558	7,224	420,40
Delfim Moreira	Ribeirão do Taboão	07/10/2005	263,826	0,484	11,03
Confluência com Sapucaí	Rio Santo Antônio	09/09/2005	330,670	2,400	68,57
Nascente	Ribeirão das Anhumas	12/08/2005	146,134	0,003	0,04

Cont.

Seção	Curso d'água	Data	S (mg/L)	Q (m³/s)	Q _{ss} (t/dia)
Confluência com Sapucaí	Ribeirão das Anhumas	11/08/2005	102,705	0,164	2,87
Nascente	Ribeirão do Piranguçu	28/07/2005	263,300	0,181	4,13
Confluência com Sapucaí	Ribeirão do Piranguçu	26/08/2005	121,759	1,303	13,70
Brazópolis – COPASA	Ribeirão da Vargem Grande	27/08/2005	139,774	0,910	10,99
Antes do Córrego do Teodoro	Ribeirão da Vargem Grande	02/09/2005	365,392	1,000	31,57
Depois do Córrego do Teodoro	Ribeirão da Vargem Grande	27/07/2005	75,100	1,840	12,01
Confluência com Sapucaí	Ribeirão da Vargem Grande	05/08/2005	240,949	3,690	76,81
Borges	Rio Sapucaí	13/08/2005	1704,144	6,467	952,19
Antes da confluência com o Santo Antônio	Rio Sapucaí	21/09/2005	386,671	6,634	221,63
Depois da confluência com o Santo Antônio	Rio Sapucaí	20/10/2005	314,583	9,225	250,73
Santa Rosa	Rio Sapucaí	08/09/2005	499,304	8,954	386,27
Pessegueiro	Rio Sapucaí	10/10/2005	673,235	13,155	765,19
Olegário Maciel	Rio Sapucaí	31/08/2005	258,295	18,178	405,67

Segundo os dados obtidos por MAIA (2005), a região apresentou elevados níveis de sedimentos em suspensão e que estes estão associados à ocupação indevida do solo.

Isto é evidenciado com os valores obtidos no Bairro Pessegueiro, o qual teve uma seção de estudo próxima à estação de coleta de lixo de Itajubá e à jusante da cidade, de modo que neste ponto já estão refletidos os impactos da descarga orgânica de toda Itajubá que escoar justamente para o Rio Sapucaí. Sabe-se que isto prejudica, significativamente, a qualidade da água deste curso (SARLAS et al, 2008).

No caso da produção específica de sedimentos em suspensão nas sub-bacias do Alto Sapucaí, percebeu-se que cursos d'água de menor comprimento podem apresentar considerável produção de sedimentos. É o caso do Ribeirão Anhumas que apresentou um nível de 42 t/km².ano

e, comparado ao Ribeirão José Pereira, que apresentou uma produção de 22 t/km².ano, a produção do Anhumas é bastante significativa, uma vez que este, possui menor comprimento que o Ribeirão José Pereira.

Verificou-se também que, à medida que o curso d'água aproxima-se da cidade de Itajubá, os níveis de qualidade e quantidade de água diminuem-se drasticamente e, quanto mais próximo do rio Sapucaí, maior é o estágio de degradação.

Assim, nota-se que a aplicação do estudo de produção de sedimentos e descarga sólida em suspensão às sub-bacias, permite inferir acerca do grau de degradação do ambiente, quanto à erosão e alterações antrópicas.

Um exemplo disto é a bacia do Rio Santo Antônio que apresenta uma área menor, mas produção específica de sedimentos maior quando comparado ao rio Vargem Grande, que possui uma bacia maior, mas uma produção de sedimentos menor. Nesse caso, os valores de produção específica de sedimentos são 106 t/km².ano e 80 t/km².ano respectivamente (MAIA, 2005).

Deve-se citar que os valores da produção específica de sedimentos em suspensão necessitam de dados comparativos no Brasil; entretanto, segundo CARVALHO (2008), são aceitos os dados da pesquisa de Khosla em 200 bacias norte-americanas a critério de comparação. Assim, verificou-se que esses resultados obtidos no trabalho estão dentro do esperado de acordo com a pesquisa de Khosla (MAIA, 2005).

Foi possível identificar algumas áreas com necessidades imediatas de recuperação e controle da produção de sedimentos.

Os dados obtidos permitiram a construção de uma curva chave de sedimentos para a bacia hidrográfica do Alto Sapucaí com boa precisão. Assim, com essa curva, é possível extrapolar os resultados para outras vazões – além das vazões estudadas, desta bacia.

Abaixo, a **Figura 12** apresenta a curva chave de sedimentos para a bacia hidrográfica do Alto Sapucaí, obtida por MAIA (2005):

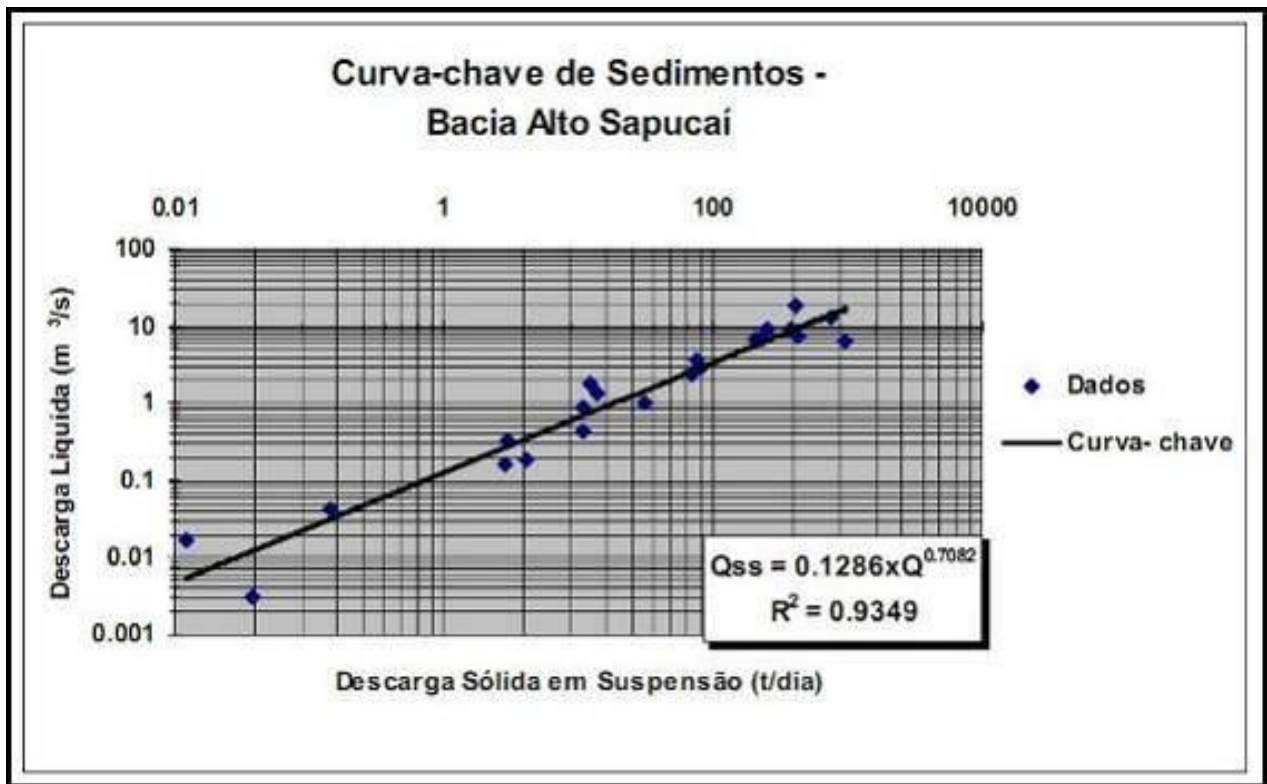


Figura 12. Curva chave de sedimentos da Bacia do Alto Sapucaí. Fonte: MAIA (2005).

Portanto, o trabalho tem grande importância para o controle e monitoramento da qualidade de água na bacia do Alto Sapucaí e avaliação das condições do ambiente estudado. Isso porque possibilitou uma análise sistemática e detalhada da produção de sedimentos e descarga de sólidos em suspensão na bacia estudada revelou, cientificamente, importantes trechos com alto grau de degradação, sobretudo da qualidade e quantidade da água que merecem atenção quanto à restauração, ou recuperação do ambiente (SARLAS et al, 2008).

Capítulo 3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. A Bacia Hidrográfica Estudada

Os estudos foram desenvolvidos na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí (GD5), a qual integra a bacia do rio Grande, localizando-se na região sudeste e atravessando dois estados, São Paulo e Minas Gerais conforme **Figura 13**.

O rio Sapucaí nasce na Serra da Mantiqueira, na cidade de Campos do Jordão/SP, a uma altitude de 1650 m, e deságua no Lago de Furnas a 780 m de altitude, no município de Paraguaçu, atravessando, aproximadamente, 343 km (34 km dentro do Estado de São Paulo e 309 km em Minas Gerais). A parte mineira da bacia do rio Sapucaí abrange um total de 40 sedes municipais e possui uma área de drenagem de 8.882 km². Os solos da bacia são ocupados predominantemente com pastagens e remanescentes de matas de galeria e araucárias. A topografia íngreme dominante não favorece a prática da agricultura, que fica restrita às várzeas de alguns cursos de água (IGAM, 2010).

O clima na cabeceira, influenciado pela Serra da Mantiqueira, é caracterizado por temperatura média anual de 13,6°C (Mesotérmico Médio) e total médio anual de precipitação superior a 1500mm (Super Úmido), ocorrendo chuvas em todos os meses do ano, apenas decrescendo no período de inverno. No restante da bacia predominam temperaturas amenas durante o ano todo, com valores médios entre 18°C e 22°C, com precipitação média anual inferior a 1500mm, podendo ocorrer um ou dois meses sem chuva. Verificam-se 2 estações bem definidas: uma estação chuvosa e outra seca, ou aquela em que as precipitações são muito freqüentes e intensas e aquela em que há um sensível declínio de chuvas, que de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Aw (MAIA, 2003).

Enquanto de setembro a março há um predomínio de temperaturas mais ou menos elevadas, atingindo o máximo em dezembro e janeiro, de maio a agosto as temperaturas são sensivelmente mais baixas, atingindo o mínimo em junho e julho. Nos meses de inverno, mesmo com o avanço das frentes frias, as precipitações ficam reduzidas, não só pelo maior domínio da massa tropical atlântica, mais estável, como também pela redução geral dos suprimentos de vapor de água na atmosfera, suprimento este oriundo das massas equatoriais amazônicas (MAIA, 2005).

No que se refere a problemas ambientais, destacam-se, dentre outros, a realização de queimadas, o desmatamento, que compromete as matas ciliares, e a contaminação dos cursos de água por efluentes industriais. Apesar disso, quando comparado ao ano anterior, o Índice de Qualidade das Águas no rio Sapucaí apresentou melhora em pontos situados a montante e a jusante da cidade de Itajubá, onde o IQA Médio e Ruim das águas em 2004 passou para IQA Bom e Médio em 2005, respectivamente. Já o rio Sapucaí-Mirim manteve o resultado de IQA Médio verificado em 2004. No ano de 2009, na região do Município de Itajubá/MG obteve um IQA Ruim e para o restante dos corpos hídricos da bacia obteve um IQA Médio. Dos parâmetros analisados no rio Sapucaí, 6 (seis) deles apresentaram resultados acima do limites legais vigentes, sendo eles: Coliformes Termotolerantes, Cor Verdadeira, Turbidez, Sólidos em Suspensão Totais, Manganês Total e Fósforo Total (IGAM, 2010)

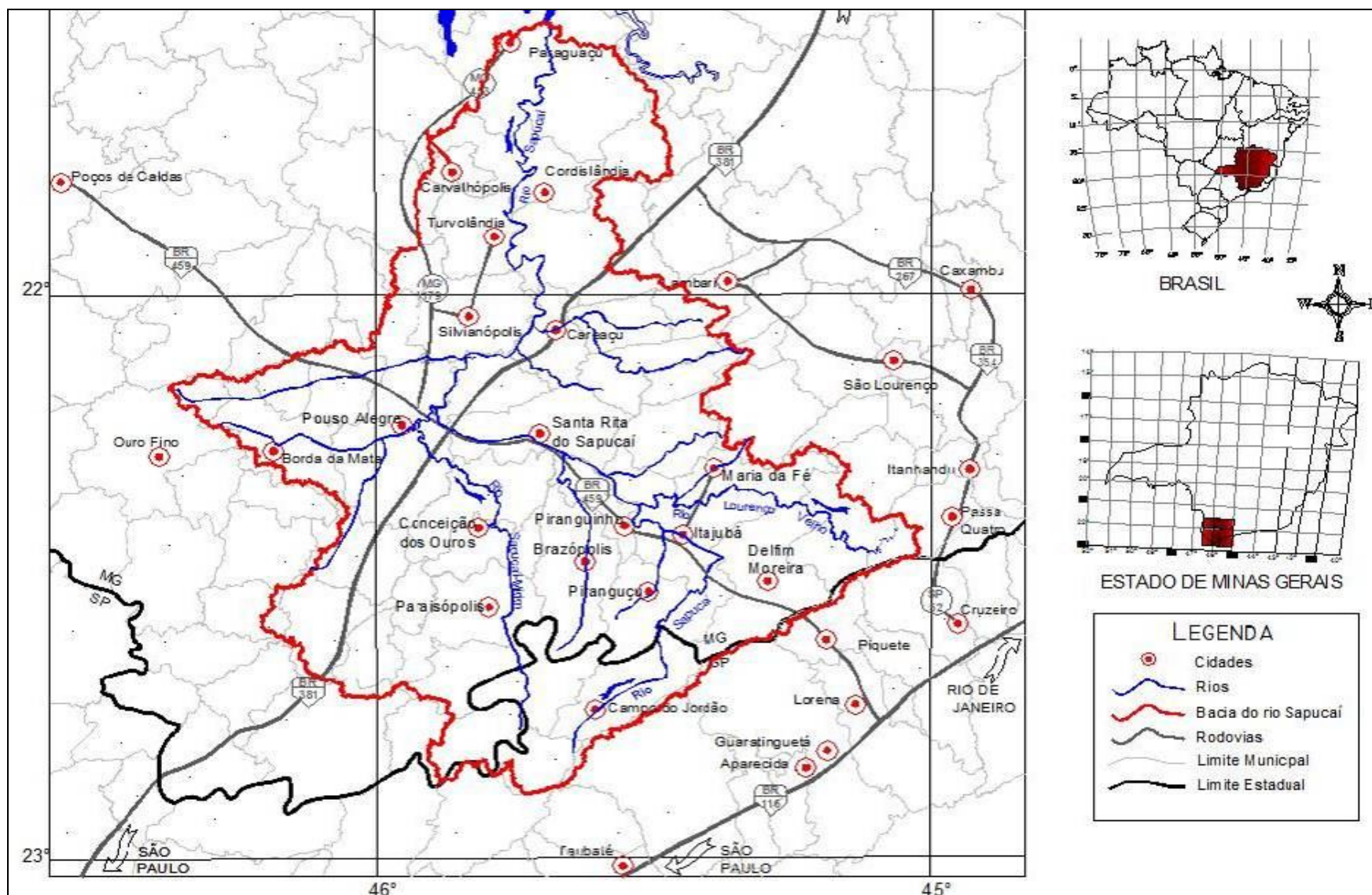


Figura 13. Mapa de localização da bacia do rio Sapucaí. Org. por: Carlos Renato Marcondes, 2011.

3.2. Localização das Áreas de Estudo

Foram selecionadas dezessete seções de diferentes cursos d'água na bacia do rio Sapucaí para a avaliação da descarga sólida. As seções escolhidas são locais onde já possuíam estações de monitoramento de enchentes, bem como dados hidrológicos.

A **Tabela 3** apresenta as seções de estudo, juntamente com seu município, curso d'água e as coordenadas UTM Datum - WGS 84 Zona - 23K. Já a **Figura 14** apresenta o mapa de localização dos pontos de coleta de dados hidrossedimentológico na bacia hidrográfica do rio Sapucaí.

Tabela 3. Descrição e coordenadas UTM - WGS 84 - 23K das seções.

Seção	Município	Curso d'água	Coordenadas UTM WGS 84 – 23 K (m)		
			E (X)	N (Y)	H (Z)
ÁGUA LIMPA	Itajubá	Rio Santo Antônio	462.193,9	7.515.252,7	858
BORGES	Piranguçu	Rio Sapucaí	452.763,6	7.503.851,2	920
CANTAGALO	Itajubá	Rio Sapucaí	459.694,4	7.514.376,8	847
SANTA ROSA	Itajubá	Rio Sapucaí	456.368,4	7.517.783,4	844
DELFIN MOREIRA	Delfim Moreira	Ribeirão do Taboão	470.607,0	7.510.781,1	1.198
SANTANA	Wenceslau Braz	Rio de Bicas	460.738,5	7.511.087,3	862
MARINS	São José do Alegre	Rio Lourenço Velho	450.381,7	7.527.812,6	844
OLEGARIO MACIEL	Piranguinho	Rio Sapucaí	440.167,6	7.531.480,6	831
SANTA RITA	Santa Rita do Sapucaí	Rio Sapucaí	427.010,5	7.539.233,8	819
CONFLUÊNCIA	Pouso Alegre	Rio Sapucaí	409.728,0	7.544.898,1	816
CHAPADÃO	Pouso Alegre	Rio Sapucaí Mirim	405.389,8	7.537.352,3	820
MANDU	Pouso Alegre	Rio Mandu	401.622,0	7.539.211,9	817
CONCEIÇÃO DOS OUROS	Conceição do Ouros	Rio Sapucaí Mirim	419.038,2	7.520.417,6	841
BRAZÓPOLIS	Brazópolis	Ribeirão da Vargem Grande	436.048,4	7.513.127,5	860
ANHUMAS	Itajubá	Ribeirão das Anhumas	452.640,5	7.519.009,1	848
PIRANGUÇU	Piranguçu	Ribeirão do Piranguçu	448.811,8	7.509.719,3	862
CAMBUÍ	Maria da Fé	Córrego do Cambuí	462.512,8	7.532.803,6	1274

Org. por: Carlos Renato Marcondes, 2011.

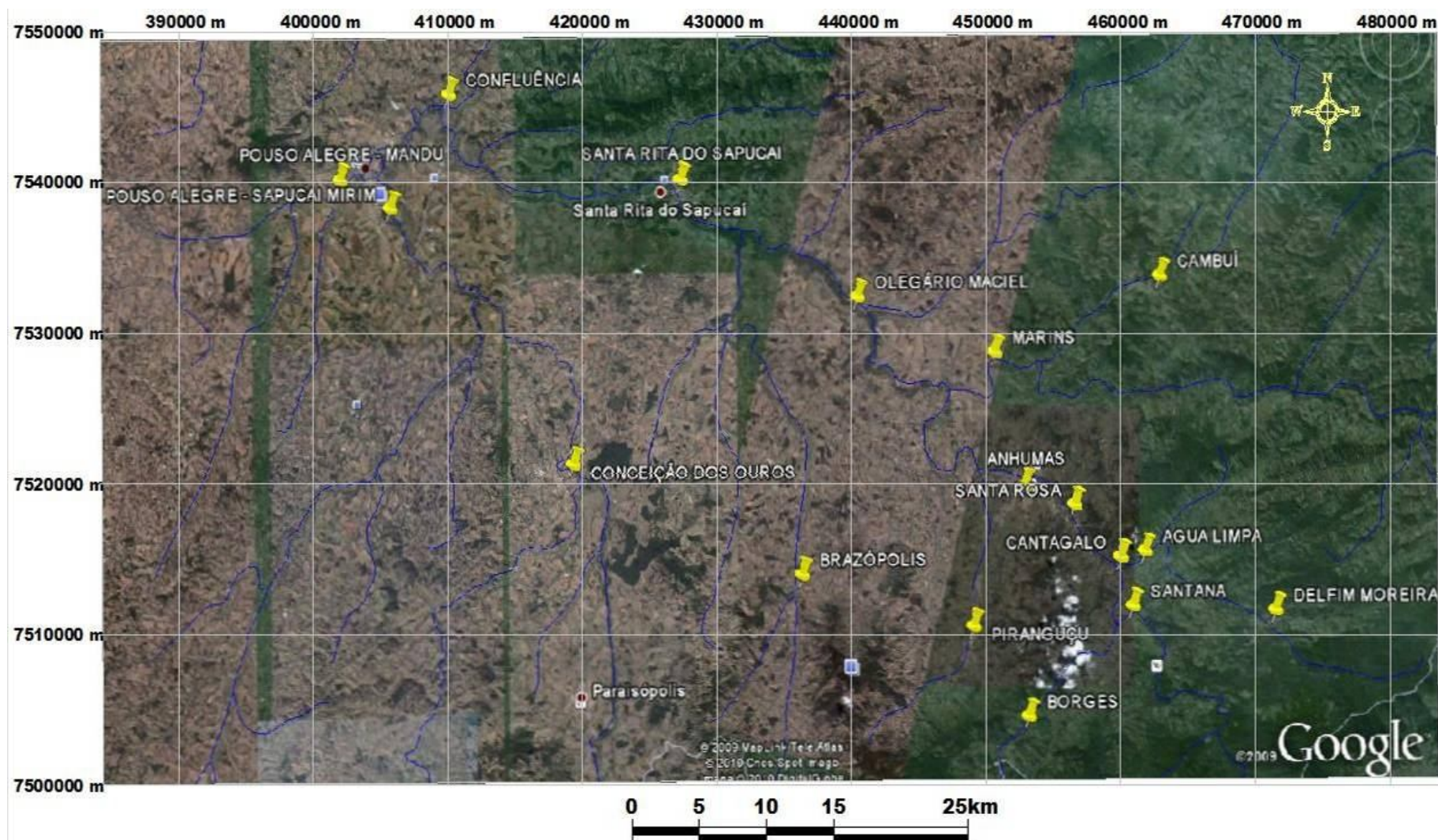


Figura 14. Localização dos pontos de coletas de dados hidrossedimentológicos (Modificado de Google Earth®). Org. por: Carlos Renato Marcondes, 2011.

3.3. Avaliação Sedimentológica

Segundo CARVALHO e FILIZOLA JÚNIOR (2000), a maior parte da descarga sólida, é representada pelo sedimento em suspensão, chegando a representar 95% da descarga sólida total. Por esta razão e pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte dos eventos individuais só contemplam o sedimento em suspensão.

Posto isso, para uma avaliação sedimentológica da bacia hidrográfica do rio Sapucaí foi avaliado apenas o sedimento em suspensão no curso d'água, sendo avaliada a descarga sólida em suspensão, a descarga líquida e as características morfológicas das seções estudadas.

Para determinar a quantidade de sedimento transportado em suspensão pelo rio Sapucaí coletaram-se amostras da mistura água-sedimento na superfície e fundo do curso d'água, que foram armazenadas em recipientes apropriados para posterior análise em laboratório e, por fim, procederam-se os cálculos de descarga sólida em suspensão.

As amostragens foram relacionadas fazendo integrações pontuais na vertical, para que estas tenham boa representatividade da carga sólida da seção estudada.

O número de verticais em cada seção e o número de pontos de coleta de água referente a cada vertical depende das características das seções transversais.

O material coletado acumulava a mistura água sedimento, desde o ponto próximo ao leito do rio até a superfície. As amostras foram acondicionadas em frascos apropriados e enviadas ao laboratório para análise do material e obtenção do teor de sólidos totais. Em laboratório, obteve-se os valores das concentrações pontuais em mg/L.

3.4. Coleta de Dados

A análise da descarga sólida no rio Sapucaí permitiu verificar o estado natural desse curso d'água, pois possibilita avaliar as inferências acerca da influência humana na qualidade e quantidade de água que é transportada.

Neste sentido, foram feitas amostragens de água em dezessete seções controle da bacia hidrográfica do rio Sapucaí desde a cabeceira até a confluência com o rio Sapucaí Mirim para observar a descarga sólida na região.

Em cada seção foi determinada a descarga líquida e a topobatimetria do curso d'água. Além disso, foram coletadas as amostras de água que foram acondicionadas em recipientes adequados e em seguida encaminhadas para o laboratório, onde foram analisadas para determinação dos sólidos totais.

Os valores para carga sólida são referentes aos sólidos totais presentes no meio aquático no momento da amostragem, entre estes sólidos podem conter minerais, substâncias orgânicas ou substâncias poluentes que se associam aos sedimentos e contribuem para a deteriorização do ambiente aquático.

Coletaram-se seis amostras de cada seção estudada de acordo com o seguinte procedimento:

- Uma amostra de superfície de cada margem: esquerda e direita;
- Uma amostra de fundo de cada margem: esquerda e direita;
- Uma amostra de fundo e outra de superfície da região média da seção estudada.

A **Figura 15** apresenta esquematicamente a distribuição dos pontos de coleta nas seções estudadas.

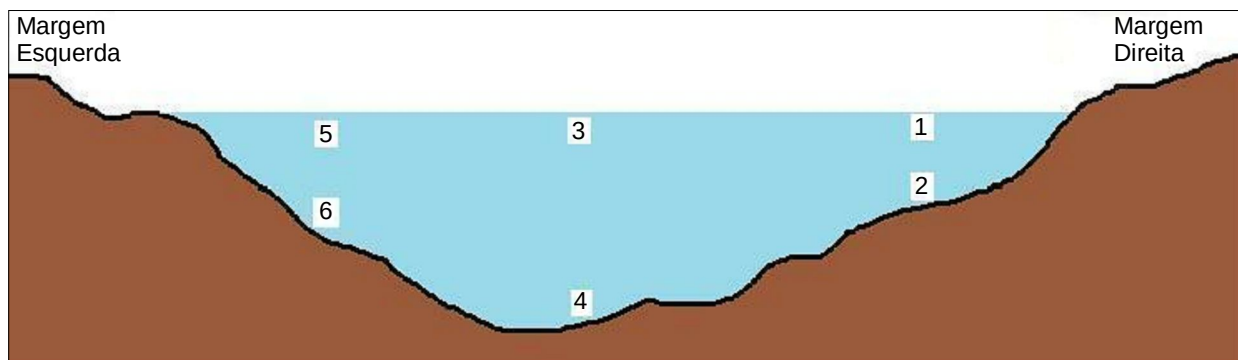


Figura 15. Croqui da distribuição dos seis pontos de coleta de amostra de água nas seções estudadas.

As amostras foram coletadas nos dias 22 de julho de 2009, 15 de agosto de 2009, e ainda em 05, 06, 07 e 11 de janeiro de 2010. Em julho e agosto os dias estavam ensolarados e não houve grande volume de chuvas, já em janeiro as vazões estavam consideravelmente maiores devido ao grande volume de chuvas, embora os dias estivessem ensolarados.

As **Figuras 16 e 17** apresentam os frascos de amostra da mistura água-sedimento utilizados durante as coletas em campo, todos com capacidade de 1L. Todas as amostras foram

acondicionadas em caixas térmicas com gelo a uma temperatura de aproximadamente 4°C para sua preservação.



Figura 16. Foto dos frascos com amostras de água coletadas na seção Olegário Maciel no rio Sapucaí.



Figura 17. Foto com o destaque da rotulagem para identificação das amostras.

Assim, foi possível determinar a descarga sólida dos cursos d'água e, conseqüentemente, caracterizar em termos sedimentológicos a bacia do rio Sapucaí.

3.5. Determinação das Características das Seções Transversais

Para a realização do estudo de avaliação da quantidade de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Sapucaí, foram escolhidas dezessete seções nos cursos d'água dessa bacia, desde sua cabeceira, como na seção Borges, em Piranguçu (MG) e na seção Delfim Moreira, em Delfim Moreira (MG), até a seção Confluência, localizada após a confluência do rio Sapucaí com o rio Sapucaí Mirim, em Pouso Alegre (MG). Todas essas seções são locais onde já existem estações de monitoramento de enchentes da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

Desta forma, em cada seção foi definida a calha do rio no local onde se realizariam as amostragens. Para isso, utilizaram-se uma Estação Total, da marca FOIF e modelo 0TS685L e um prisma, para obtenção de dados confiáveis quanto ao levantamento topobatimétrico. Todas as seções foram georreferenciadas para melhor localização destas no mapa. Utilizou-se ainda o equipamento Qliner, utilizado na determinação da descarga líquida, para definir a batimetria do curso d'água. Na **Figura 18** pode-se observar a realização da topobatimetria.



Figura 18. Foto da Estação total sendo utilizada para coleta de dados de topografia na seção Chapadão no rio Sapucaí Mirim, em Pouso Alegre/MG.

Com os levantamentos obtidos, determinou-se a forma da seção molhada para todas as seções transversais em estudo. Então, pela regra dos trapézios determinou-se a área molhada de cada seção, que é necessária para o cálculo da descarga sólida e líquida.

Na **Figura 19** pode-se evidenciar um exemplo de perfil topobatimétrico da seção de estudo na captação de água da COPASA no rio Sapucaí, bairro Santa Rosa, Itajubá/MG.

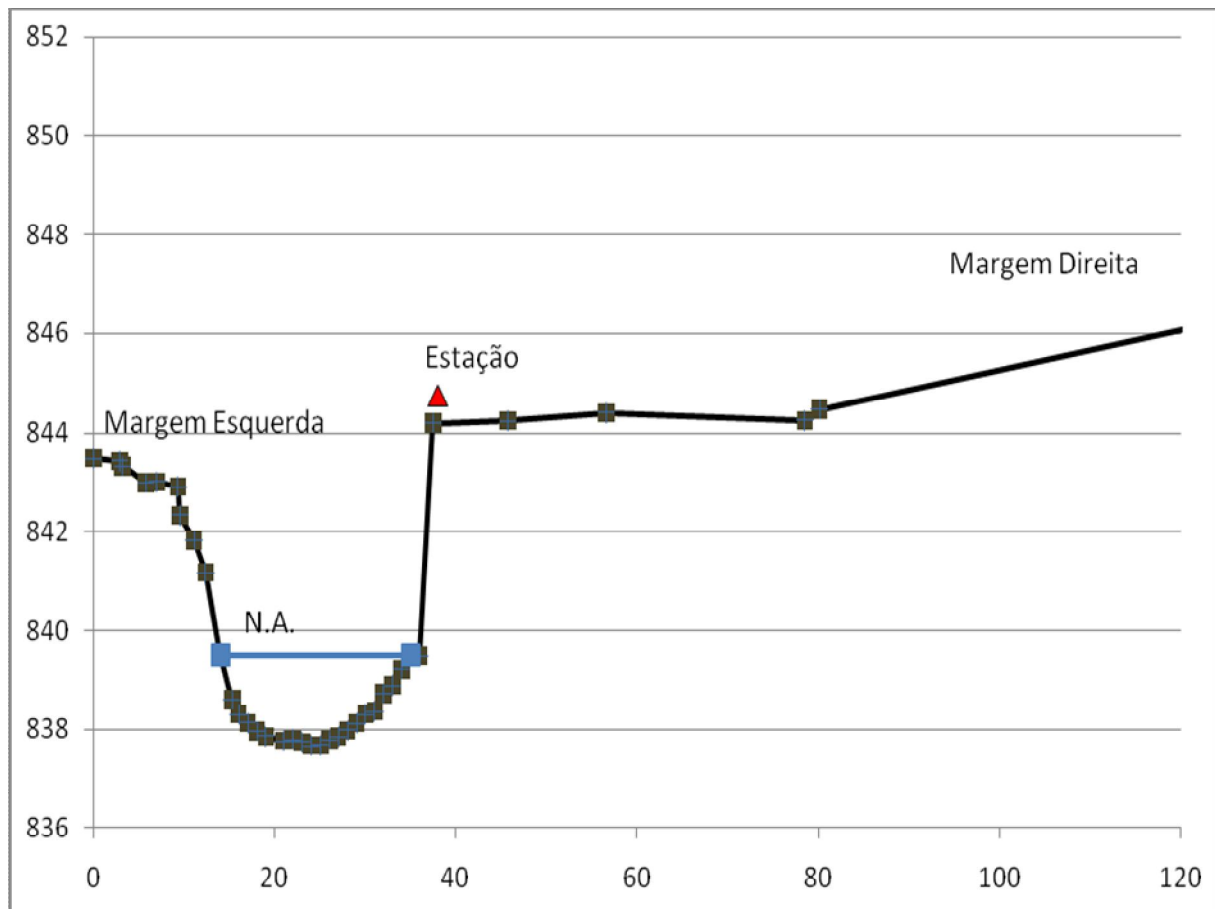


Figura 19. Perfil topobatimétrico da seção Santa Rosa, no Rio Sapucaí em Itajubá/MG.

Neste perfil é possível observar que houve modificação na margem direita do rio devido à construção de um muro de arrimo de aproximadamente quatro metros de altura na estação de bombeamento de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA para a cidade de Itajubá/MG.

3.6. Determinação da Descarga Líquida

A descarga líquida – também denominada vazão – é definida como o volume de água que flui em determinado ponto do canal num período de tempo e pode ser expressa em metro cúbico por segundo (m^3/s), ou em litros por segundo (L/s) (TUCCI, 2007).

Para a determinação da descarga líquida utilizou-se a seção molhada definida anteriormente e com o auxílio de um equipamento de medições hidrométricas OTT Qliner modelo 247840 (Qliner), o qual possui sensores ultrassônicos, utilizando assim o princípio do efeito Doppler para

calcular a velocidade do escoamento, a profundidade do rio ou seção, realizando a batimetria, determinando os perfis de velocidade, e por fim, calculando a vazão. As **Figuras 20 a 23** mostram o equipamento Qliner e seu funcionamento.



Figura 20. Foto da parte inferior do Qliner.



Figura 21. Foto dos sensores ultrassônicos do Qliner (1,2 e 3 – Sensores de Velocidade, 4 – Ecobatímetro e 5 sensor de pressão).



Figura 22. Foto do funcionamento do Qliner.



Figura 23. Foto do controle do Qliner.

As medições com o Qliner ocorrem de forma estática, sendo o equipamento posicionado em verticais, de forma semelhante ao que ocorre em medições com molinete fluviométrico. As profundidades são medidas simultaneamente por um ecobatímetro, e pelos feixes de velocidade. A utilização do ecobatímetro representa maior precisão na medida da profundidade (RICARDO et al., 2008).

A aquisição e processamento dos dados captados pelo Qliner ocorre através do *software* “Qliner for Pocket PC”, desenvolvido para a plataforma Windows Mobile. O programa realiza a

conexão ao perfilador, configuração, acompanhamento, visualização e pré-análise das medições. No modo de acompanhamento e visualização das medições, podem ser visualizados dados tabulares de velocidade, profundidade e vazão de cada vertical.

Após a realização das medições, os dados coletados podem ser descarregados em computadores convencionais e pós-processados através do *software* “Qreview”. Neste, pode-se ler e visualizar os dados, alterar as configurações utilizadas durante as medições, gerar gráficos e exportar os dados para outros programas, por exemplo, planilhas Excel conforme **Figura 24**.

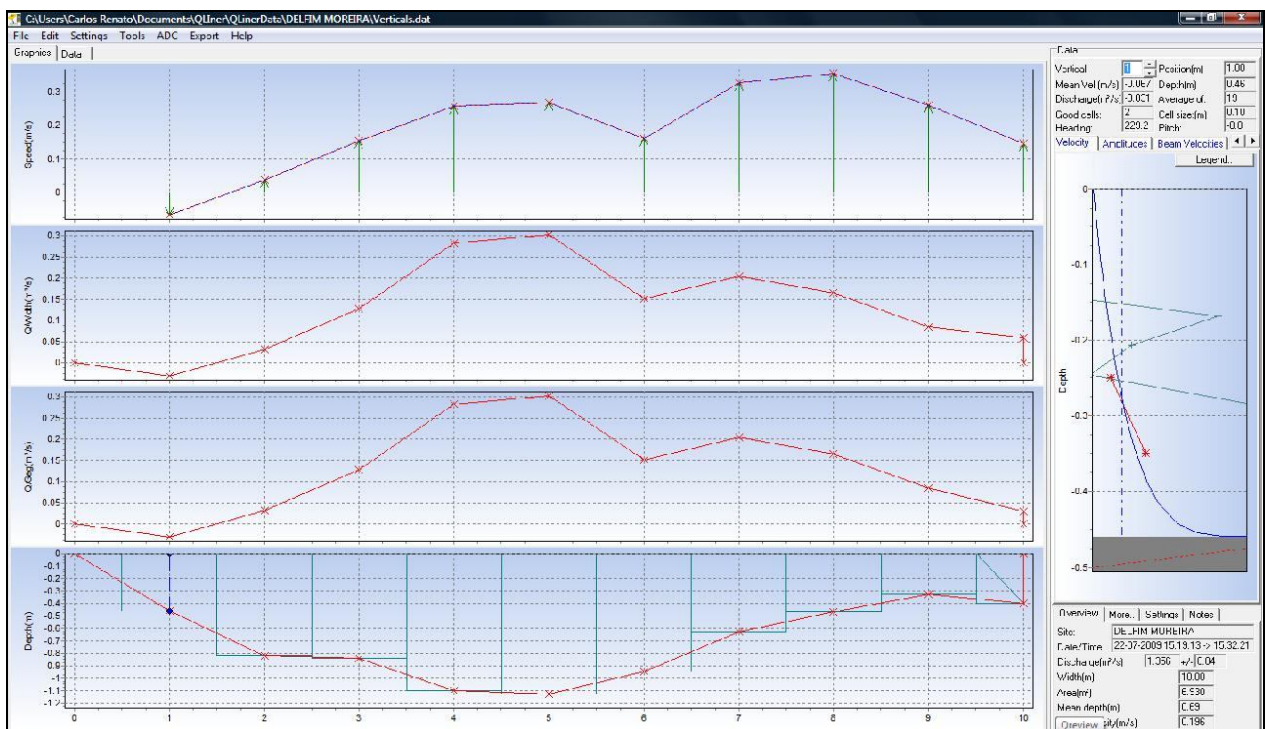


Figura 24. Vetores velocidade, vazão unitária e perfil batimétrico da medição em Delfim Moreira/MG. Fonte: QMETRIX (2007).

3.7. Coleta de Amostras de Água

As amostras de água foram coletadas manualmente, nas áreas de baixa profundidade (**Figura 25**) e, em regiões mais profundas, utilizou-se uma garrafa do tipo *VanDorn* em PVC (**Figura 26 e 27**). Todas as amostras foram armazenadas em recipientes apropriados com volume de um litro, além de serem preservadas em caixas térmicas com gelo a uma temperatura de aproximadamente 4°C (**Figura 28**).



Figura 25. Foto da amostragem manual da água nas áreas de baixa profundidade.



Figura 26. Foto da amostragem da água em regiões mais profundas com o auxílio da garrafa de *VanDorn*.



Figura 27. Foto da amostragem da água em regiões mais profundas com o auxílio da garrafa de *VanDorn*.



Figura 28. Foto da caixa térmica com gelo para preservação das amostras.

3.8. Análise da Concentração de Sólidos Totais em Laboratório

Para a análise das amostras quanto aos parâmetros sólidos totais presentes foram utilizados cadinhos de porcelana com capacidade para 100 mL, um Forno Mufla da marca QUIMIS, modelo Q.138D, um dessecador de vidro, um compressor e aspirador da marca FANEM, modelo 089CAL, uma balança analítica de precisão da marca Acculab, modelo 318D24 e uma Estufa de Esterilização da marca BIOPAR, modelo ALC.

A determinação dos sólidos totais das amostras coletadas deve ser feita de maneira criteriosa, de modo que a realidade do ambiente seja retratada com precisão satisfatória. Dessa

ESTUDO DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NOS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SAPUCAÍ

forma, utilizou o procedimento de análise de sólidos totais Método 2540D do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON *et. al.* 2005).

Para tanto, pesou-se os cadinhos esterilizados em mufla por 2h a 550°C; um para cada amostra, e anotou-se P₁ – a massa de cada cadinho vazio.

Então, transferiu-se 100 mL da amostra aos recipientes cerâmicos, que foram colocados em estufa a 105°C por 24h.

Feito isso, armazenou-se os cadinhos em dessecador de vidro, fazendo vácuo no mesmo com o auxílio de um compressor e aspirador, com o objetivo de extrair a umidade excedente nos cadinhos e aguardar o resfriamento destes, até a temperatura ambiente.

Anotou-se a massa dos cadinhos novamente – P₂.

Assim, foi possível calcular a quantidade de sólidos totais presentes nas amostras a partir da **Equação 3** abaixo:

$$\text{Equação 3: } S = \frac{(P_1 - P_2)}{V}$$

Onde,

S = sólidos totais, apresentado em mg/L;

P₁ e P₂ = são as massas anotadas do cadinho em mg, após a esterilização e após a passagem dos cadinhos com amostra na estufa respectivamente .

V = volume da amostra, em L.

Para cada amostra o procedimento foi realizado em triplicidade visando minimizar o erro experimental. Abaixo, a **Figura 29** apresenta o esquema do procedimento das análises de sólidos totais.

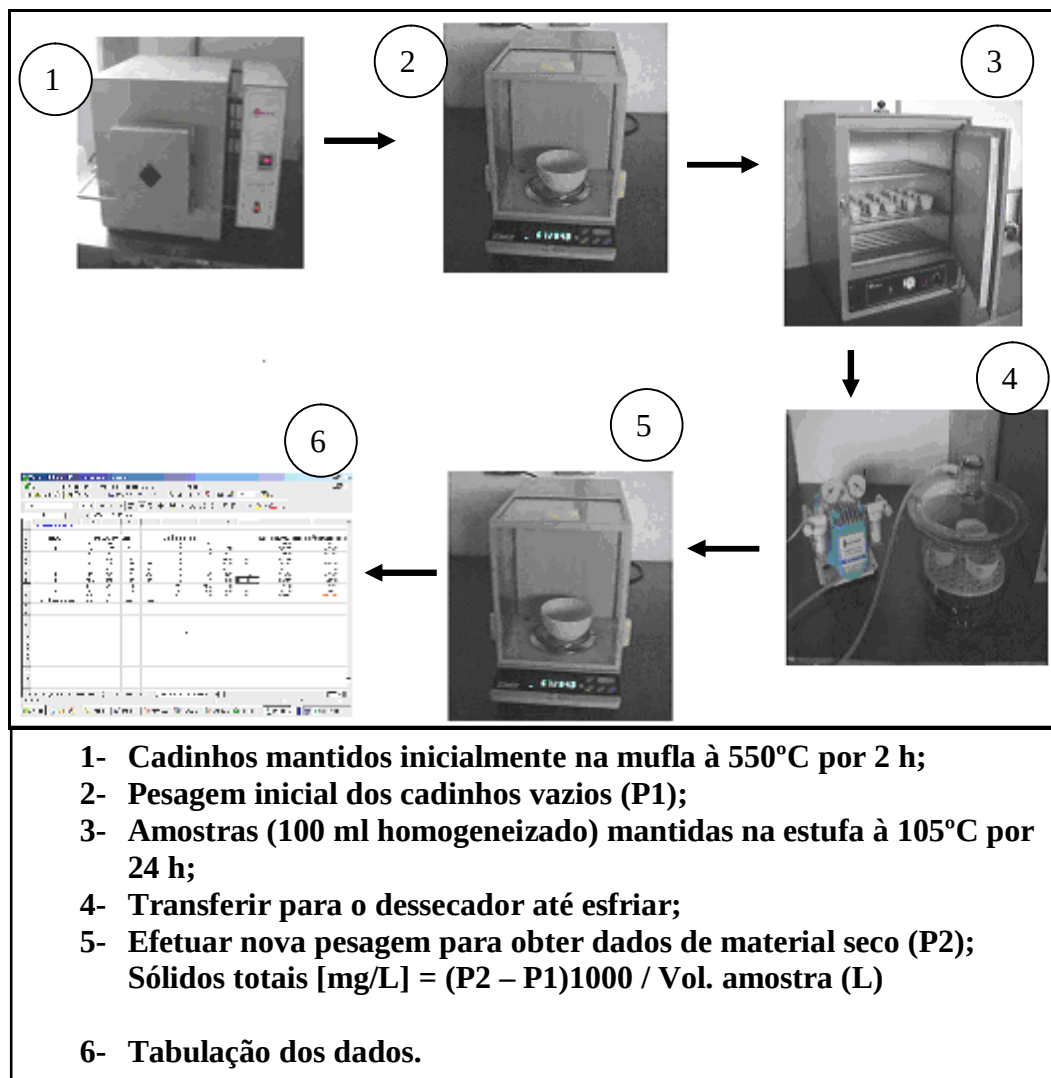


Figura 29. Processos necessários para análise de sólidos totais (EATON et. al, 1998).

Dessa forma, pode-se obter a concentração de sólidos totais em cada seção estudada a partir das médias aritméticas dos valores de sólidos totais presentes nas amostras de cada seção.

3.9. Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão

Para calcular a descarga sólida em suspensão das seções estudadas, primeiramente, calcula-se a concentração média de sedimentos da seção transversal, realizando integrações com valores das concentrações pontuais de cada vertical e dividindo o resultado pelo valor da área molhada.

Assim,

$$\text{Equação 4: } \bar{S} = \frac{1}{A} \int_a Cp.dA = \frac{1}{A} \int_x \int_y Cp.dy.dx$$

Onde,

C_p – Concentração pontual (mg/L);

A – Área da seção molhada (m²);

x, y – comprimentos horizontais e verticais entre as verticais e os pontos de estudo (m);

$\bar{S}$ – Concentração média de sedimentos na seção transversal.

O cálculo da descarga sólida em suspensão na seção transversal (t/dia) utiliza os valores de concentração média (mg/L), descarga líquida (m³/s) e o fator de multiplicação 0,0864 para correção de grandezas.

Desse modo,

$$\text{Equação 5: } Q_{ss} = 0.0864.\bar{S}.Q$$

Onde,

Q_{ss} – Descarga sólida em suspensão na seção transversal (t/dia);

$\bar{S}$ – Concentração média na seção transversal (mg/L);

Q – Descarga líquida (m³/s).

3.10. Cálculo da Produção Específica de Sedimentos

De acordo com CARVALHO; FILIZOLA JÚNIOR (2000), a produção específica de sedimentos é a relação entre o deflúvio sólido anual e a área de drenagem da bacia contribuinte, sendo expressa em t/km².ano:

$$\textbf{Equação 6: } P_s = \frac{D_s}{A}$$

Onde,

P_s – Produção Específica de Sedimentos (t/km².ano);

D_s – Deflúvio Sólido Anual (t/ano);

A – Área da bacia contribuinte (km²).

A produção específica de sedimentos pode ser referida a um ano, quando monitorada durante esse ano, ou a valores médios de vários anos. À produção específica de sedimentos em suspensão deverá ser acrescida a parcela relativa ao movimento dos sedimentos no leito do escoamento (CARVALHO; FILIZOLA JÚNIOR, 2000).

Capítulo 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Apresentação dos Resultados

Foram obtidos os valores referentes à descarga líquida, concentração média de sedimentos na seção e a descarga sólida das regiões estudadas.

A **Tabela 4** abaixo apresenta a concentração média de sólidos (S), dada em mg/L, em cada seção de estudo:

Tabela 4. Resultados da concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L)

Seção	Município	Curso d'água	Data	S (mg/L)
DELFIM MOREIRA	Delfim Moreira	Ribeirão do Taboão	22/07/2009	94,00
BORGES	Piranguçu	Rio Sapucaí	22/07/2009	71,50
SANTANA	Wenceslau Braz	Rio de Bicas	22/07/2009	184,83
ÁGUA LIMPA	Itajubá	Rio Santo Antônio	15/08/2009	148,67
CANTAGALO	Itajubá	Rio Sapucaí	15/08/2009	157,17
SANTA ROSA	Itajubá	Rio Sapucaí	15/08/2009	139,33
MARINS	São José do Alegre	Rio Lourenço Velho	05/01/2010	779,00
OLEGÁRIO MACIEL	Piranguinho	Rio Sapucaí	05/01/2010	213,00
SANTA RITA	Santa Rita do Sapucaí	Rio Sapucaí	06/01/2010	139,67
CONFLUÊNCIA	Pouso Alegre	Rio Sapucaí	06/01/2010	115,67
CHAPADÃO	Pouso Alegre	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	330,33
MANDU	Pouso Alegre	Rio Mandu	07/01/2010	173,33
CONCEIÇÃO DOS OUROS	Conceição dos Ouros	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	287,00
BRAZÓPOLIS	Brazópolis	Ribeirão da Vargem Grande	07/01/2010	101,33

Cont.

Seção	Município	Curso d'água	Data	S (mg/L)
ANHUMAS	Itajubá	Ribeirão das Anhumas	11/01/2010	190,00
PIRANGUÇU	Piranguçu	Ribeirão do Piranguçu	11/01/2010	186,00
CAMBUÍ	Maria da Fé	Córrego do Cambuí	11/01/2010	299,00

A concentração média de sedimentos na área de estudo é de 212,34 mg/L e possui uma variação de 71,50 mg/L na seção do rio Sapucaí, no bairro dos Borges, em Piranguçu/MG; a 779,00 mg/L na seção do rio Lourenço Velho, no bairro Marins em São José do Alegre/MG.

A partir dos valores de concentração de sedimentos e da descarga líquida na seção em estudo, pode-se, enfim, calcular a descarga sólida em suspensão e a produção específica de sedimentos.

Dessa forma, a **Tabela 5** apresenta os valores de descarga líquida (Q) em m³/s, de descarga sólida (Q_{ss}) em t/dia e de produção específica de sedimentos (P_s) em t/km².ano.

Tabela 5. Resultados da descarga líquida (m³/s), da descarga sólida em suspensão (t/dia) e de produção específica de sedimentos em t/km².ano

Seção	Curso d'água	Data	Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)	P _s (t/km ² .ano)
DELFIM MOREIRA	Ribeirão do Taboão	22/07/2009	1,356	11,01	34,95
BORGES	Rio Sapucaí	22/07/2009	5,694	35,18	35,47
SANTANA	Rio de Bicas	22/07/2009	1,644	26,25	61,04
ÁGUA LIMPA	Rio Santo Antônio	15/08/2009	2,569	33,00	51,92
CANTAGALO	Rio Sapucaí	15/08/2009	11,100	150,73	65,81
SANTA ROSA	Rio Sapucaí	15/08/2009	11,741	141,34	59,43
MARINS	Rio Lourenço Velho	05/01/2010	25,393	1.709,09	976,24
OLEGÁRIO MACIEL	Rio Sapucaí	05/01/2010	99,321	1.827,82	315,14
SANTA RITA	Rio Sapucaí	06/01/2010	138,430	1.670,50	194,99

Cont.

Seção	Curso d'água	Data	Q (m³/s)	Q _{ss} (t/dia)	P _s (t/km².ano)
CONFLUÊNCIA	Rio Sapucaí	06/01/2010	270,560	2.703,95	169,81
CHAPADÃO	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	77,895	2.223,16	368,5
MANDU	Rio Mandu	07/01/2010	13,904	208,22	153,54
CONCEIÇÃO DOS OUROS	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	49,534	1.228,28	382,86
BRAZÓPOLIS	Ribeirão da Vargem Grande	07/01/2010	6,232	54,56	137,34
ANHUMAS	Ribeirão das Anhumas	11/01/2010	0,038	0,62	9,90
PIRANGUÇU	Ribeirão do Piranguçu	11/01/2010	3,048	48,98	232,19
CAMBUÍ	Córrego do Cambuí	11/01/2010	0,178	4,60	93,24

Org. por Carlos Renato Marcondes, 2011.

Os valores de descarga sólida em suspensão obtidos neste trabalho foram inseridos na curva-chave de transporte de sedimentos da bacia do Alto do Sapucaí, obtida por MAIA (2005).

Comparando os dados obtidos por MAIA (2005) e pelo presente estudo, pode-se observar a existência de seções estudadas por ambos os trabalhos nessa bacia, tais como Delfim Moreira, Brazópolis, Borges, Santa Rosa e Olegário Maciel.

Reunidos esses dados, foi possível ajustar a curva-chave de sedimentos obtida por MAIA (2005) com os valores obtidos na bacia do rio Sapucaí nesse trabalho. Esta curva-chave determina a descarga sólida em suspensão média a partir das descargas líquidas nos respectivos cursos d'água em estudo. No gráfico exposto na **Figura 30**, os pontos em azul correspondem aos valores obtidos em 2009 e 2010 e os pontos em vermelho representam valores obtidos em 2005.

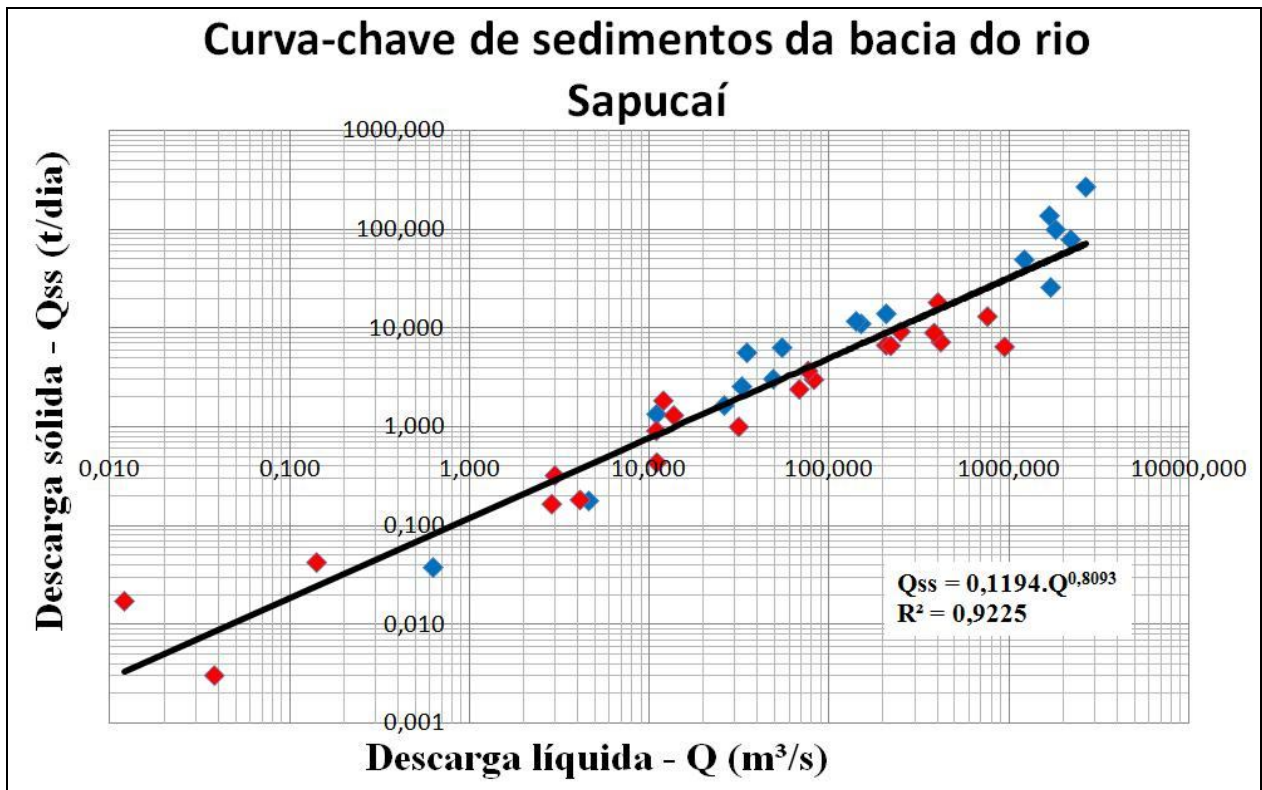


Figura 30. Curva-chave de sedimentos da bacia do rio Sapucaí.

Ressalva-se, ainda, que houve apenas uma campanha para coleta de dados em campo e, neste trabalho, não se optou por coletar amostras em diferentes períodos, por exemplo, mensalmente, de modo que se objetivasse obter um valor médio mensal de descarga sólida.

Neste estudo, os resultados de descarga sólida foram relacionados matematicamente, através de uma função e uma curva-chave que possuem a descarga líquida como variável principal.

Assim, relaciona-se a descarga sólida em suspensão com a descarga líquida na região em estudo. Isso permite avaliações futuras do transporte de sedimentos na bacia do rio Sapucaí de maneira rápida e satisfatória.

Dessa forma, eliminou-se a necessidade de coleta e análises de dados periódicos para descarga sólida em suspensão. Segundo LI, et al. 2006, quando compara-se a descarga sólida em suspensão à descarga líquida, esta é mais demorada e onerosa.

Com esta curva-chave, os estudos sedimentológicos posteriores na bacia do rio Sapucaí são facilitados, uma vez que esta caracteriza satisfatoriamente a descarga sólida em suspensão real nessa região em função da descarga líquida.

4.2. Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos neste trabalho acerca da caracterização da descarga sólida em suspensão na bacia do rio Sapucaí permitem inferir sobre a qualidade e quantidade da água disponível dos cursos d'água dessa região.

Em termos de avaliação da descarga líquida realizada nas dezessete seções de controle, foi possível verificar quais são os principais contribuintes para a vazão nessa bacia. Os três maiores contribuintes foram o rio Sapucaí Mirim, com uma vazão de 77,895 m³/s em uma estação de bombeamento da COPASA em Pouso Alegre/MG, em seguida o rio Lourenço Velho, com uma vazão de 25,393 m³/s no bairro dos Marins em São José do Alegre/MG e por fim o rio Mandu com uma vazão de 13,904 m³/s também em outra estação de bombeamento da COPASA em Pouso Alegre/MG.

Toda a região em estudo é influenciada diretamente pela ação antrópica. Existem seções tanto em áreas urbanas, como Delfim Moreira, Santa Rosa, Mandu, Chapadão, entre outras, ou em áreas rurais, contudo com núcleos residenciais no entorno como Água Limpa, Borges, Cantagalo, Marins, entre outras.

A ação antrópica reflete diretamente no valor da descarga sólida em suspensão, uma vez que, como consta no trabalho de LIU et al. (2008), a presença humana do entorno facilita o carreamento de partículas para a calha do curso hídrico, pois o processo de erosão do solo, acelerado pelas atividades antropogênicas, tais como a remoção de vegetação de superfície, exploração florestal, pecuária extensiva, mineração e urbanização, perturbam a estrutura do solo compactando-o e favorecendo o escoamento superficial da água. Outro fator é o aumento de descarga de efluentes domésticos no rio, sobretudo, sem tratamento.

Tudo isso deve ser identificado, uma vez que as atividades desenvolvidas na região – como a atividade agropecuária e dragagem de areia, podem interferir significativamente nos cursos d'água, em termos de descarga líquida, concentração de sedimentos e, conseqüentemente, descarga sólida.

Os pares de valores de descarga sólida em suspensão e descarga líquida obtidos nas 17 seções de estudo deste trabalho, quando plotados na curva chave obtida por MAIA (2005) apresentam uma grande coerência, ou seja, o modelo retrata de maneira satisfatória a descarga sólida em função da descarga líquida. Isto é verificado pelo valor do coeficiente de determinação - R² - no ajuste desses dados plotados que foi de 0,9225 e, por estar próximo de 1, pode-se dizer

que o modelo está bastante representativo e que o ajuste linear está coerente, com 92,25% das variações representadas pela reta de regressão.

Da mesma maneira, verifica-se que ambos os modelos matemáticos obtidos em 2005 e 2009/2010 são confiáveis; os coeficientes de determinação das equações não possuem grandes variações entre si. Abaixo, são apresentadas essas equações:

- **Equação 7**, descarga sólida obtida por MAIA (2005)

$$\text{Equação 7: } Q_{ss} = 0,1286.Q^{0,782}$$

- **Equação 8** obtida no presente trabalho

$$\text{Equação 8: } Q_{ss} = 0,1194.Q^{0,8093}$$

Quanto à produção específica de sedimentos, permaneceu menor apenas nas seções Borges e Santa Rosa, e nas demais seções apresentaram maiores que os valores encontrados por MAIA (2005) nas seções coincidentes; Delfim Moreira, Brazópolis e Olegário Maciel, como mostra a **Tabela 6**.

Tabela 6. Produção específica de sedimentos (t/km².dia) em seções coincidentes nos anos de 2005, 2009 e 2010.

Seção	P _s 1 (t/km ² .ano)	Data	P _s 2 (t/km ² .ano)	Data
DELFIM MOREIRA	17,10	01/10/2005	34,95	22/07/2009
BORGES	960,08	13/08/2005	35,47	22/07/2009
SANTA ROSA	162,43	08/09/2005	59,43	15/08/2009
BRAZÓPOLIS	32,94	27/08/2005	137,34	07/01/2010
OLEGÁRIO MACIEL	69,94	31/08/2005	315,14	05/01/2010

Org. por Carlos Renato Marcondes, 2011.

Tal fato pode estar relacionado com uma maior degradação dessas bacias, como por exemplo, aumento de lançamento de esgoto doméstico, agriculturas em área de preservação permanente e dragagem de areia. Contudo as seções Borges e Santa Rosa apresentaram uma produção específica de sedimentos menor, o que pode ser explicado pela melhora no uso e ocupação do solo nessas bacias, como por exemplo, preservação de matas ciliares e maior fiscalização nas dragas de areia na região.

A descarga sólida observada nas 17 seções estudadas apresentaram-se de acordo com o que era esperado, haja visto os estudos realizados por MAIA (2005). Isto porque, apesar dos valores de descarga líquida e descarga sólida obtidos em 2009 e 2010 terem sido diferentes dos valores obtidos em 2005, a inserção destes na curva chave obtida por MAIA (2005) não influenciou significativamente no ajuste do modelo. Isto reafirma que estes estudos podem ser utilizados para avaliações futuras dos cursos d'água da região.

Percebe-se no presente estudo que na seção Marins, do rio Lourenço Velho, nas seções Chapadão e Conceição dos Ouros, do rio Sapucaí Mirim, na seção Maria da Fé, do córrego do Cambuí a carga sólida foi superior às demais seções analisadas.

No que diz respeito à produção específica de sedimentos, pode-se notar que as seções Marins, seguida da Conceição dos Ouros e Chapadão foram as que apresentaram maiores valores, sendo esses, respectivamente, de 976,24, 382,86 e 368,51 t/km².dia.

Tais resultados podem ser atribuídos à grande influencia antrópica nessas seções, como descargas de efluentes domésticos diretamente no corpo d'água, uma vez que existem aglomerados residenciais próximos a essas seções de estudo, além ainda de solos nus e ou com pastagens devido à práticas agropecuárias, tão significantes na região.

4.3. Impactos do Carreamento de Sedimentos na Região em Estudo

Além de diminuir o padrão de qualidade da água, a presença de sedimentos pode causar diversos danos à sociedade, devido ao assoreamento dos cursos d'água. Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que a bacia do rio Sapucaí apresenta valores consideráveis de transporte de sedimentos (média total de 710 t/dia).

Estes sedimentos transportados podem impactar diretamente a saúde das pessoas que usufruem da água, seja para recreação, uso industrial, irrigação ou mesmo consumo humano. Isto porque esses sedimentos podem ser ou transportar partículas e substâncias tóxicas.

Sabe-se que grande parte da região estudada não possui tratamento de esgoto; isso significa que todo efluente do entorno é lançado diretamente nos corpos d'água.

Esta situação representa risco iminente de transmissão de doenças veiculadas pela água, como por exemplo, verminoses e viroses. O efluente doméstico apresenta elevada quantidade de sólidos que são transportados ao longo do corpo hídrico. Além disso, existe grande número de microrganismos patogênicos que podem se desenvolver entre as partículas transportadas ou sobre elas.

Não obstante ao exposto, tem-se ainda a questão das ocorrências de enchentes na região, sobretudo no verão. Isso porque os aglomerados urbanos desenvolveram-se ao longo dos cursos d'água da região ocupando zonas naturais de cheias, uma vez que a maioria das cidades da bacia hidrográfica do rio Sapucaí não possui sequer um plano diretor de bacias.

Esses acontecimentos são intensificados de acordo com o grau de degradação do curso d'água; os rios da região estudada apresentam extensos trechos sem mata ciliar, principal proteção natural dos córregos, ribeirões e rios. A ausência da vegetação ciliar contribui para o carreamento direto de partículas para o leito do corpo hídrico, partículas estas que são transportadas ao longo do talvegue. As **Figuras 31 a 34** retratam a realidade da situação da grande maioria dos corpos hídricos da bacia em estudo.

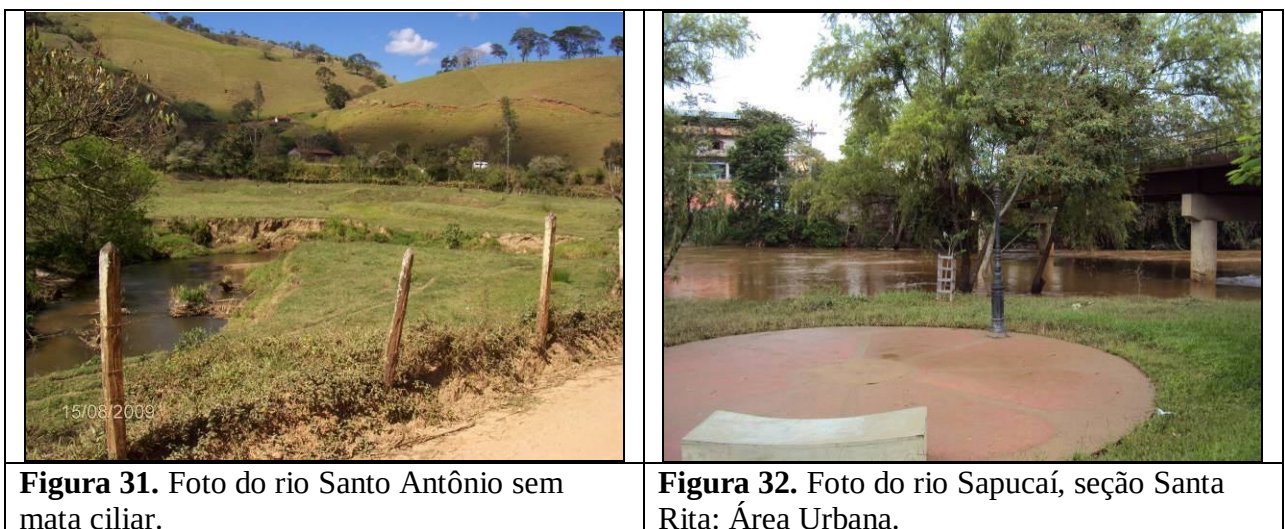




Figura 33. Foto do rio Sapucaí Mirim sem mata ciliar.



Figura 34. Foto do rio Lourenço Velho sem mata ciliar.

Capítulo 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do transporte de sedimentos é uma importante ferramenta para caracterização dos corpos hídricos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade e quantidade de água dos corpos aquáticos, pois podem ser veículos de transporte de microrganismos, contendo partículas tóxicas e, sobretudo, além de intensificar o assoreamento dos rios. Tais estudos podem desenvolver modelagens com as quais é possível obter uma avaliação temporal do transporte de sedimentos permitindo uma melhor retratação do ambiente.

Apesar da maioria dos cursos d'água possuir cerca de 95% de sua descarga sólida sendo transportada em suspensão, também pode-se fazer análises e diagnóstico da descarga sólida total por arraste de fundo e análises de sedimentos do leito, sendo essa uma análise mais completa acerca dos sedimentos, o que permitiria resultados mais verossímeis.

Em termos de monitoramento de cheias, a avaliação hidrossedimentológica contribuiu para o aprimoramento da modelagem, avaliação e interpretação de dados hidrológicos que são obtidos e utilizados continuamente para emissão de alertas. Somado a isso, a verificação de regiões de grande transporte de sedimentos permite inferir sobre o assoreamento dos cursos d'água e isso se relaciona diretamente com a ocorrência e a intensidade de enchentes na região.

Dessa forma, as análises realizadas nas dezessete seções de controle, que são as mesmas seções das estações de monitoramento de enchentes são essenciais para a melhor caracterização e modelagem das cheias no ambiente. Assim, um diagnóstico bem estabelecido da região em estudo permite melhores interpretações de como se comporta o regime de cheias na bacia e, conseqüentemente, emissões de alertas mais confiáveis para as populações mais vulneráveis a esse fenômeno.

Capítulo 6. CONCLUSÃO

Os cursos d'água da bacia do rio Sapucaí apresentam uma quantidade significativa de sedimentos transportados, sobretudo para a calha principal do rio, observam-se também notáveis contribuições do rio Sapucaí Mirim e do rio Lourenço Velho.

A curva-chave de descarga sólida em suspensão da região permitirá maior facilidade em trabalhos futuros a respeito da avaliação da descarga de sedimentos na bacia. Isso poupará investimentos e as análises serão mais rápidas, devido à boa confiabilidade de retratação da realidade que a curva gerada possui.

Apesar da confiabilidade verificada da curva-chave obtida neste trabalho, é preciso ajustá-la periodicamente, sugere-se bianualmente, nas mesmas seções de controle de cheias. Isto porque a ocupação do solo, a descarga de efluentes, o desmatamento, e outros fatores que interferem na produção de sedimentos na região, são variáveis ao longo do tempo, o que pode alterar a curva-chave de sedimentos.

Em termos de monitoramento de cheias, a avaliação hidrossedimentológica contribuiu para o aprimoramento da modelagem, avaliação e interpretação de dados hidrológicos que são obtidos e utilizados continuamente para emissão de alertas. Somado a isso, a verificação de regiões de grande transporte de sedimentos permite inferir sobre o assoreamento dos cursos d'água e isso se relaciona diretamente com a ocorrência e a intensidade de enchentes na região.

Enfim, conclui-se que o presente estudo é muito significativo no atendimento das demandas geradas nas áreas consideradas de risco ambiental, de maneira que o mesmo pode auxiliar na formação de uma gestão com ênfase na melhoria da qualidade ambiental e consequentemente da qualidade de vida para as populações dessa bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração – BIG, Matriz de Energia Elétrica**. 23 de janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>. Acessado em: 23 de janeiro de 2010.
- AUDRY, S.; BLAN, G.; SCHÄFER, J. **Solid state partitioning of trace metal in suspended particulate matter from a river system affected by smelting-waste drainage**. Science of the Total Environment, 2006; V.363, p. 216–236.
- BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. 1998, 118 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS).
- BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R.; SANTOS, H. S. S. **Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense**. Revista Acta Amazônica, V.39, N. 1, p. 173-180, 2009.
- CARVALHO, N. O. **Erosão Crescente na Bacia do São Francisco**. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos. Vol. 13 , Nº 2, Dezembro/1995. pp. 5-19.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, 599 p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília – DF: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000, 154p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. Vol.1, O canal fluvial, Edgar Blücher, 1981, São Paulo – SP.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water & Wasterwater**. 20° ed., Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998.
- FIGUEIREDO, A. G. **Análise da produção e transporte de sedimentos nas bacias do rio do Peixe e rio Aguapeí**. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo. ABRH, 2v , 1989.
- HOROWITZ, A. J. **Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes**. Science of the Total Environment, Atlanta, V. 400, p. 315 – 343, 2008.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Comitê de Bacias Hidrográficas, Unidades de Planejamento, Bacia Hidrografica do Rio Grande**. 14 de fevereiro de 2010. Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br/comites-de-bacias/unidades-de-planejamento>>. Acessado em: 14 de fevereiro de 2010.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais – Relatório Trimestral – 1° Trimestre de 2010**. 30 de julho de 2010. Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br> >. Acessado em: 30 de julho de 2010.
- LANA, C. E.; CASTRO, P. T. A. **Análise sedimentológica e de proveniência de sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das Velhas, município de Ouro Preto, MG**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto-MG, V. 61, N. 1, p. 63-68, 2008.
- LI, Z.; ZHANG, Y. K.; SCHILLING, K.; SKOPEC, M. **Cokriging estimation of daily suspended sediment loads**. Journal of Hidrology, Iowa City, V. 327, p. 389-398, 2006.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Seleção de modelos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos em suspensão em rios**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, V. 11, N. 1, p. 101-107, 2007.
- LIU, C.; SUI, J.; WANG, Z. Y. **Sediment load reduction in Chinese rivers**. International Journal of Sediment Research, Beijing, V. 23, p. 44-55, 2008.

- LOUREIRO, D. D. T. **Métodos atuais e novas tecnologias para o monitoramento do transporte de sedimentos em rios: necessidade de dados e incertezas envolvidas**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2008.
- MAIA, J.L. **Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a Utilização da Sazonalidade**. 2003, 116 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI-MG)
- MAIA, K. A. **Avaliação da descarga sólida em suspensão dos cursos d’água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí**. 2005, 62f. Trabalho de Diploma – Graduação Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI - MG).
- PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; PARANHOS, R.M. Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. **Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos**, 2000.
- PAIVA, J. B. D. (org.); PAIVA, E. M. C. D (org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. In: PAIVA, J.B.D. **Métodos de cálculo do transporte de sedimento em rios**. Porto Alegre: ABRH, 2001, cap 12, p. 313-15.
- PARANHOS, R. M. **Avaliação de Metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta**. 2003, 129 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS).
- QMETRIX (2007) – “Qreview for Windows: User Manual”, Qmetrix, Hoofddorp.
- RICARDO, M.; VIANA, A.N.C.; SILVA, L.P.; BERNARDES, M.E.C. **Análise e aplicação de perfiladores acústicos Doppler para medição de vazão em Pequenas Centrais Hidrelétricas**. VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Belo Horizonte/MG, 21 A 25 DE ABRIL DE 2008.
- ROVIRA, A.; BATALLA, R. J. **Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN)**. Geomorphology, Lleida, V. 79, p. 58–71, 2006.
- SARLAS, T. L. B.; MAIA, J. L.; BARBOSA, A. A.; MAUAD, F. F. Avaliação da descarga sólida em suspensão dos cursos d’água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro – SP, v. 8, n. 3, p. 368-385, Jul. 2008.

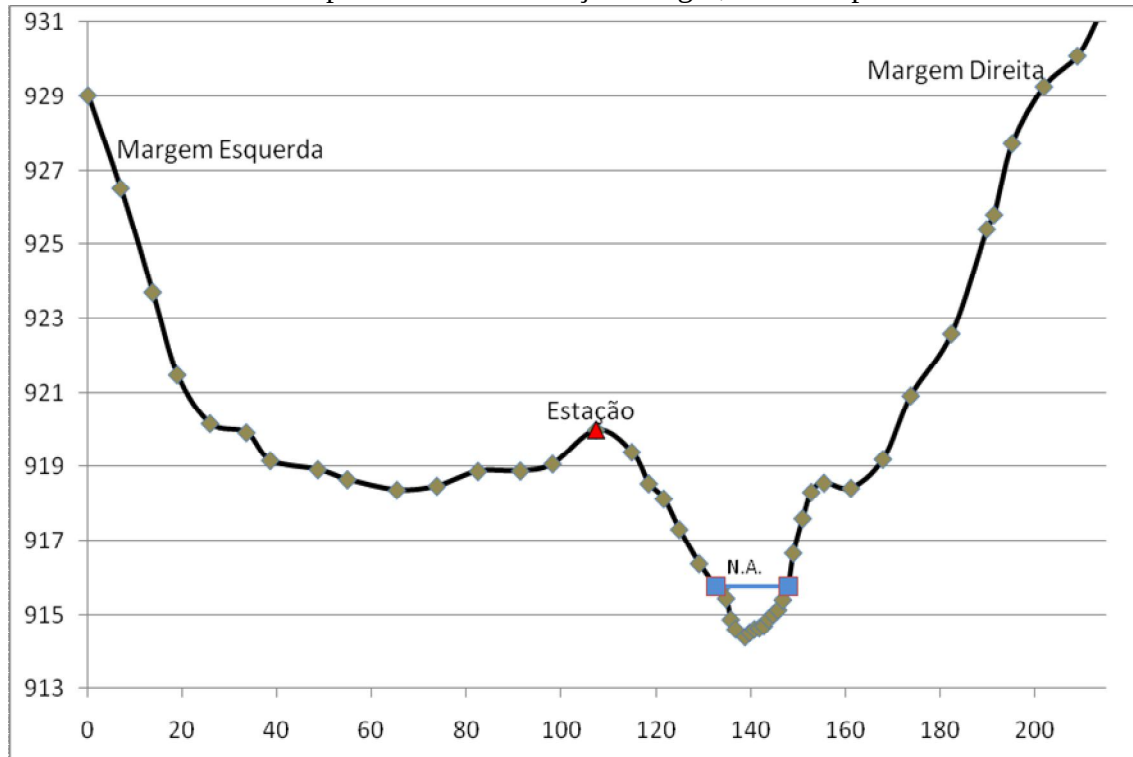
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SCAPIN, J.; PAIVA, J. B. D. **Caracterização do Transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano em Santa Maria – RS.** 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa – Silusba, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Évora, Portugal, 2005.
- SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. **Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 12, n. V, p-520-526, 2008.
- SOUZA, C. F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLI, L. A.; MERTEN, G. **Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na Bacia do Rio Potiribu - RS.** VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2005.
- TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**, 4 ed. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade Federal Rio Grande do Sul, ABRH - v. 4, Porto Alegre – RS, 2007.
- VANZELA, L. S.; LIMA, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; MAURO, F. **Diagnóstico da vazão e descarga sólida total do córrego Três Barras no município de Marinópolis – SP.** XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, São Pedro – SP, 2004.
- VIERS, J.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J. **Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database.** Science of the Total Environment, Paris, V. 407, p. 853-868, 2009.
- WALLING, D. E. **Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers.** Geomorphology, Devon, V.79, p.192–216, 2006.
- WALLING, D. E.; FANG, D. **Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers.** Global and Planetary Change, Amory Building; V.39, p.111–126, 2003.

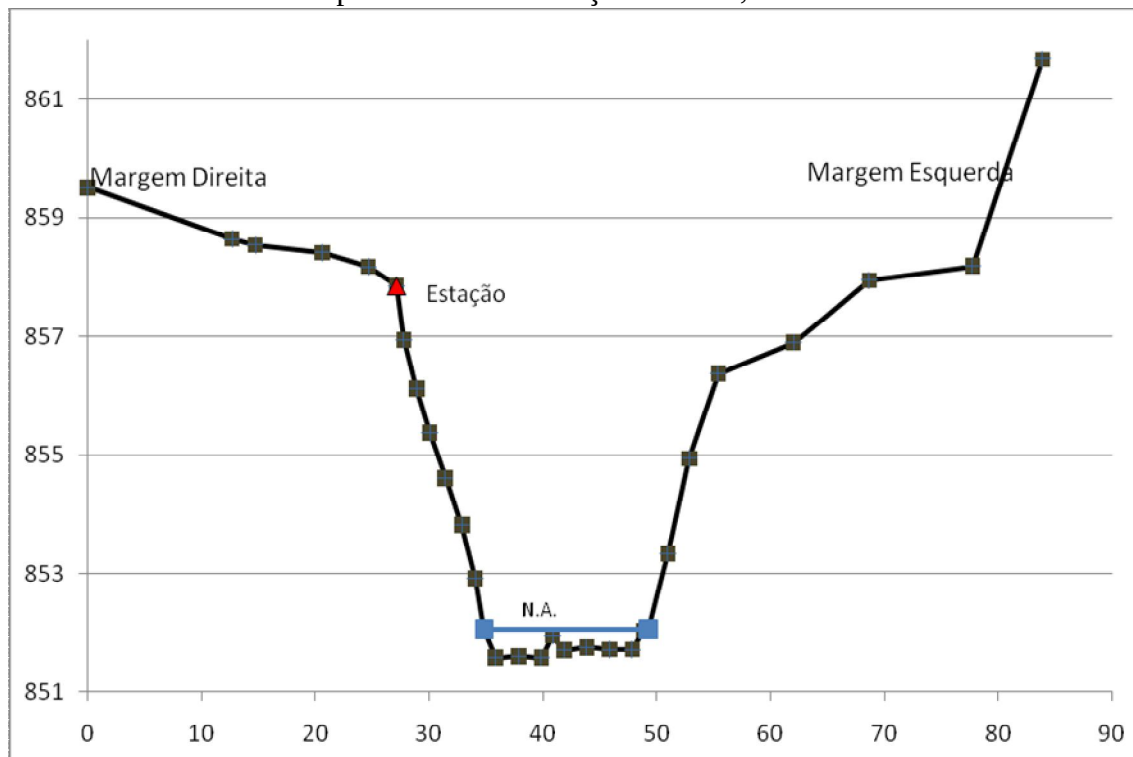
ANEXO

Perfis topobatimétricos das seções de estudo da bacia hidrográfica do rio Sapucaí.

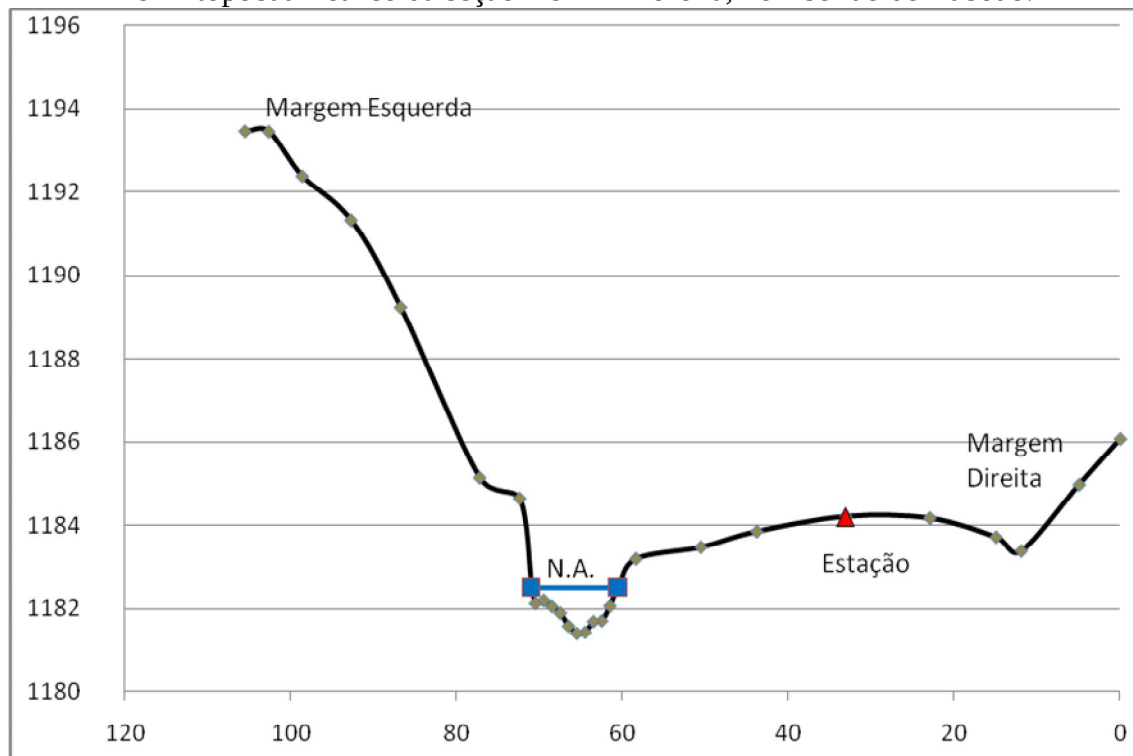
Perfil topobatimétrico da seção Borges, no rio Sapucaí.



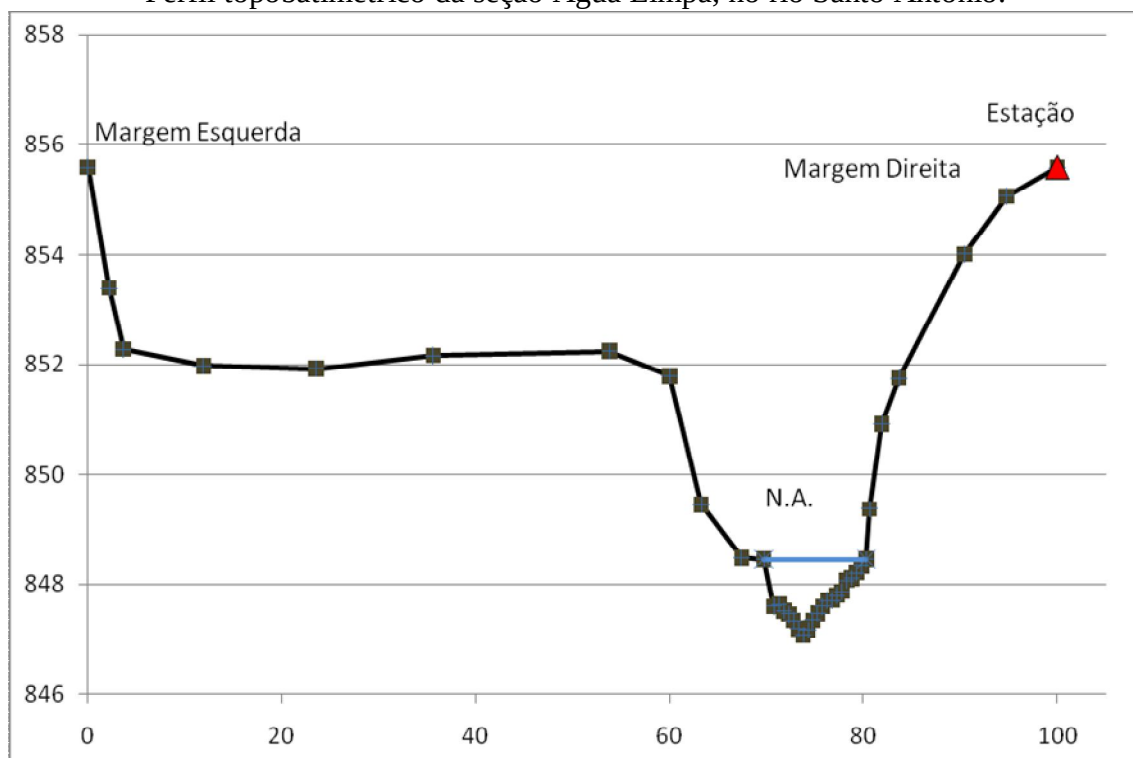
Perfil topobatimétrico da seção Santana, no rio Bicas.



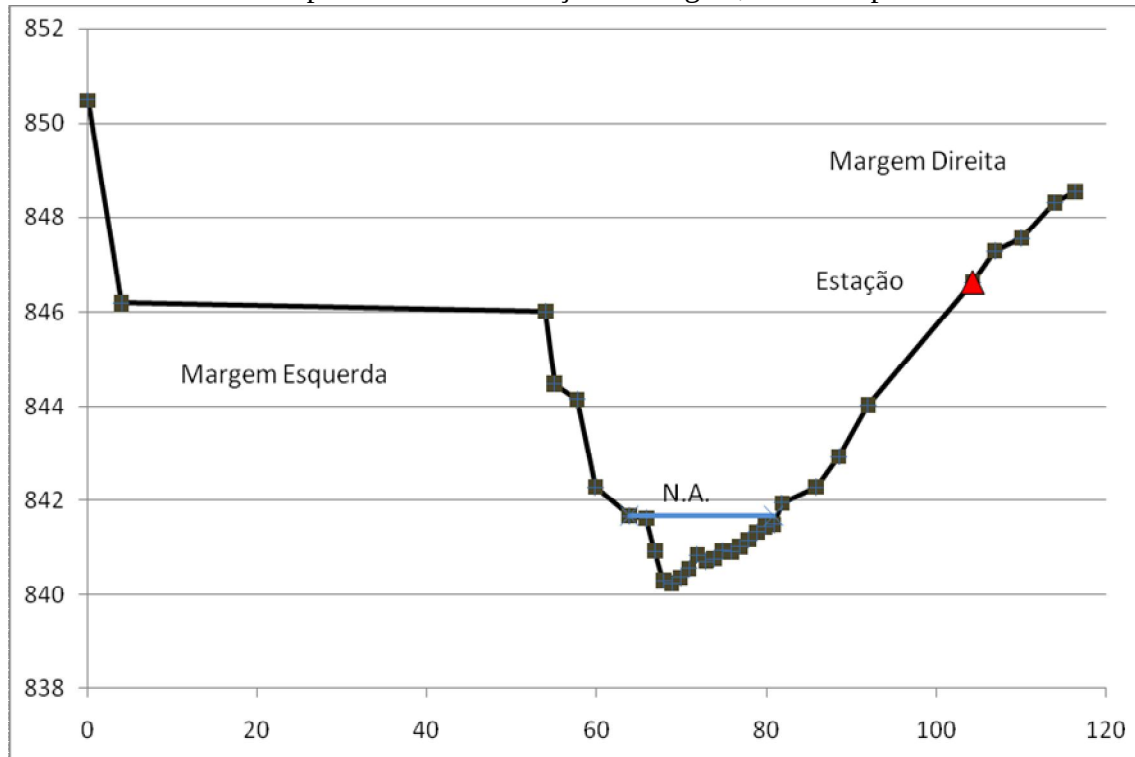
Perfil topobatimétrico da seção Delfim Moreira, no ribeirão do Taboão.



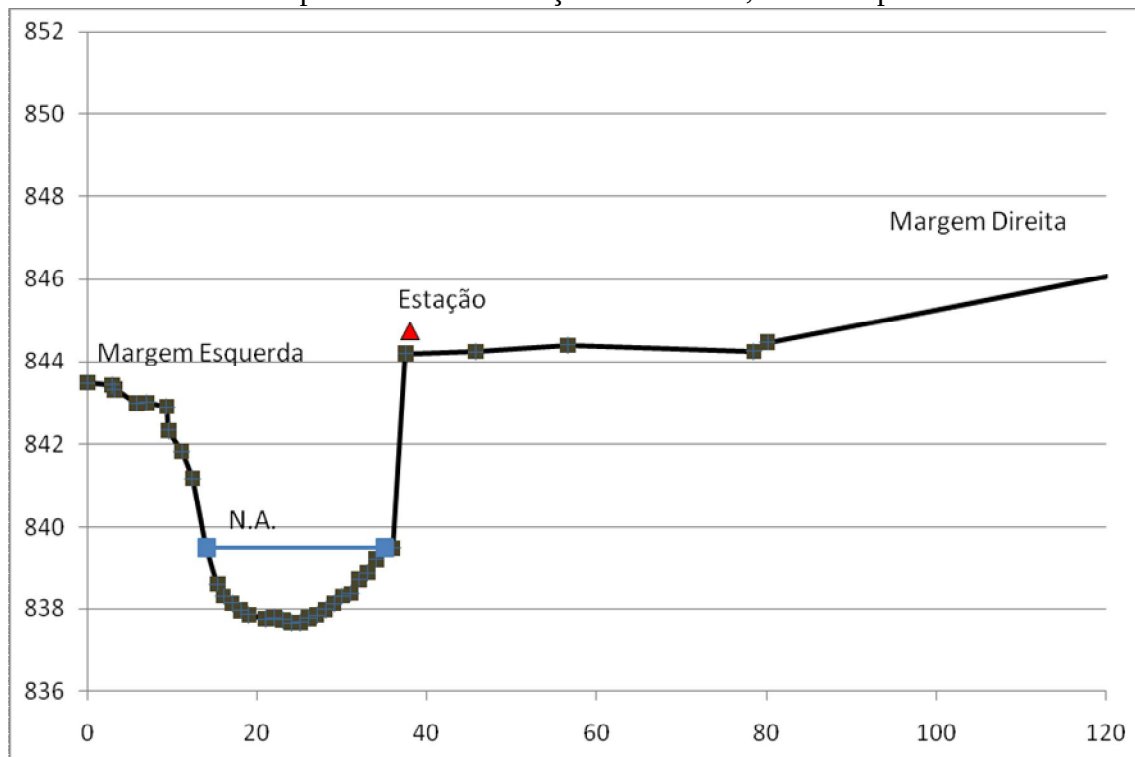
Perfil topobatimétrico da seção Água Limpa, no rio Santo Antônio.



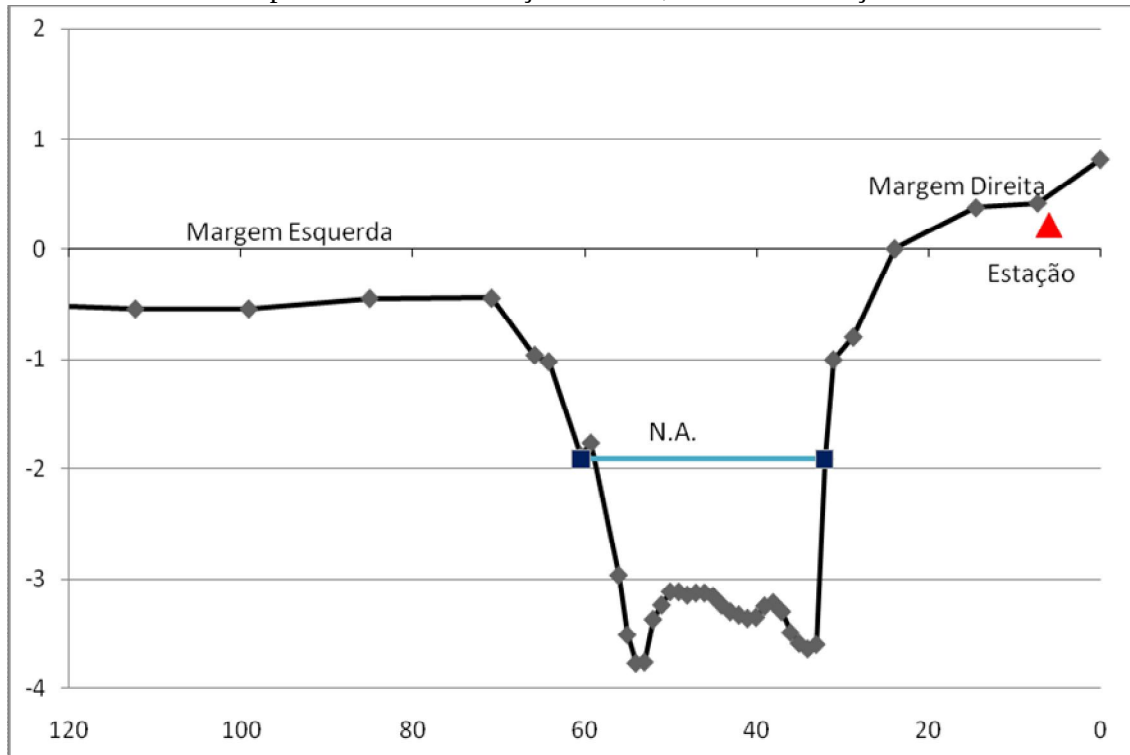
Perfil topobatimétrico da seção Cantagalo, no rio Sapucaí.



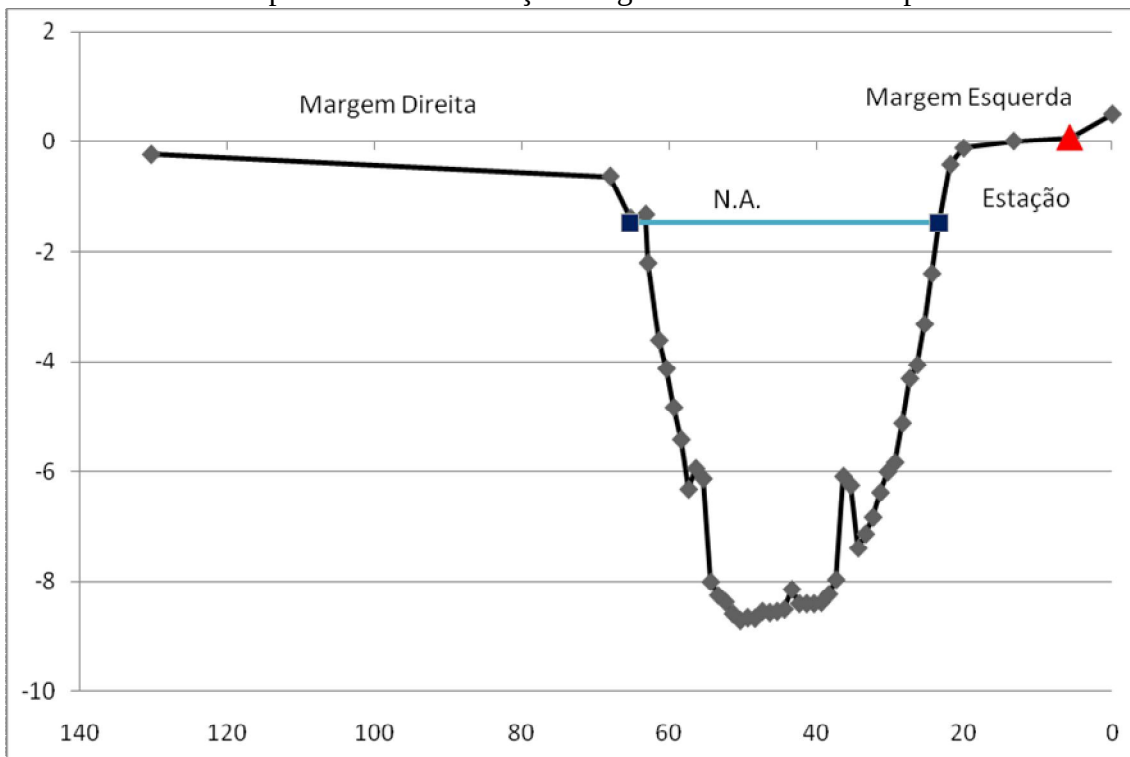
Perfil topobatimétrico da seção Santa Rosa, no rio Sapucaí.



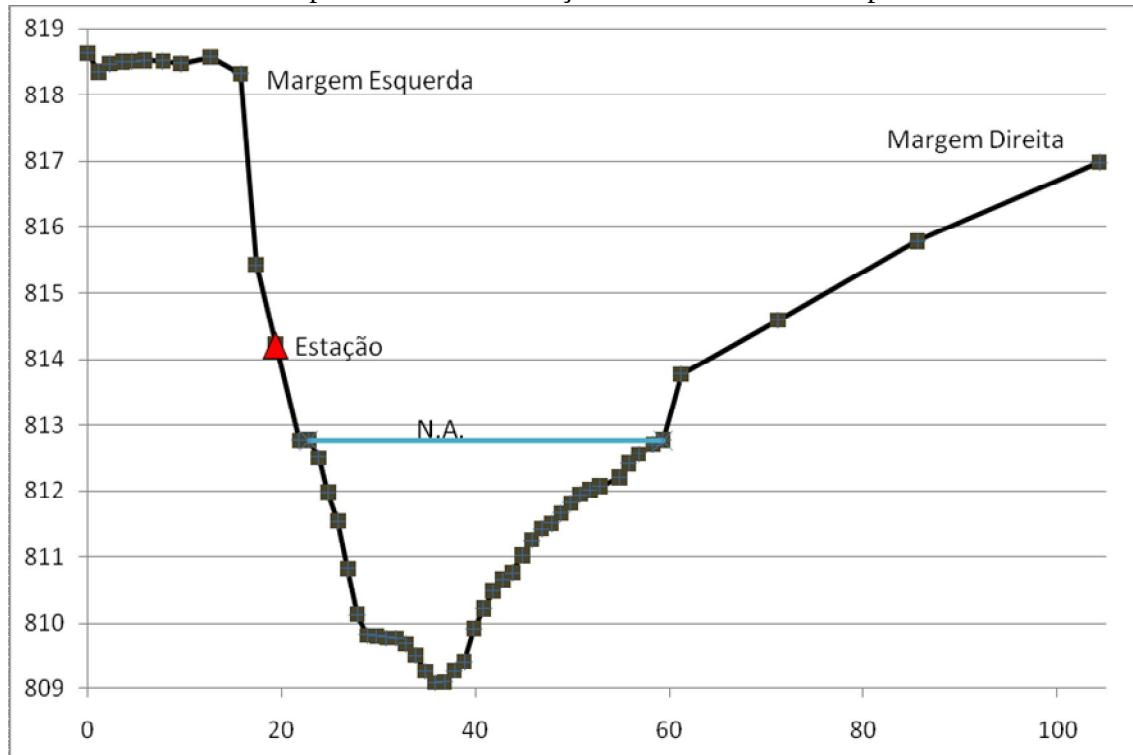
Perfil topobatimétrico da seção Marins, no rio Lourenço Velho.



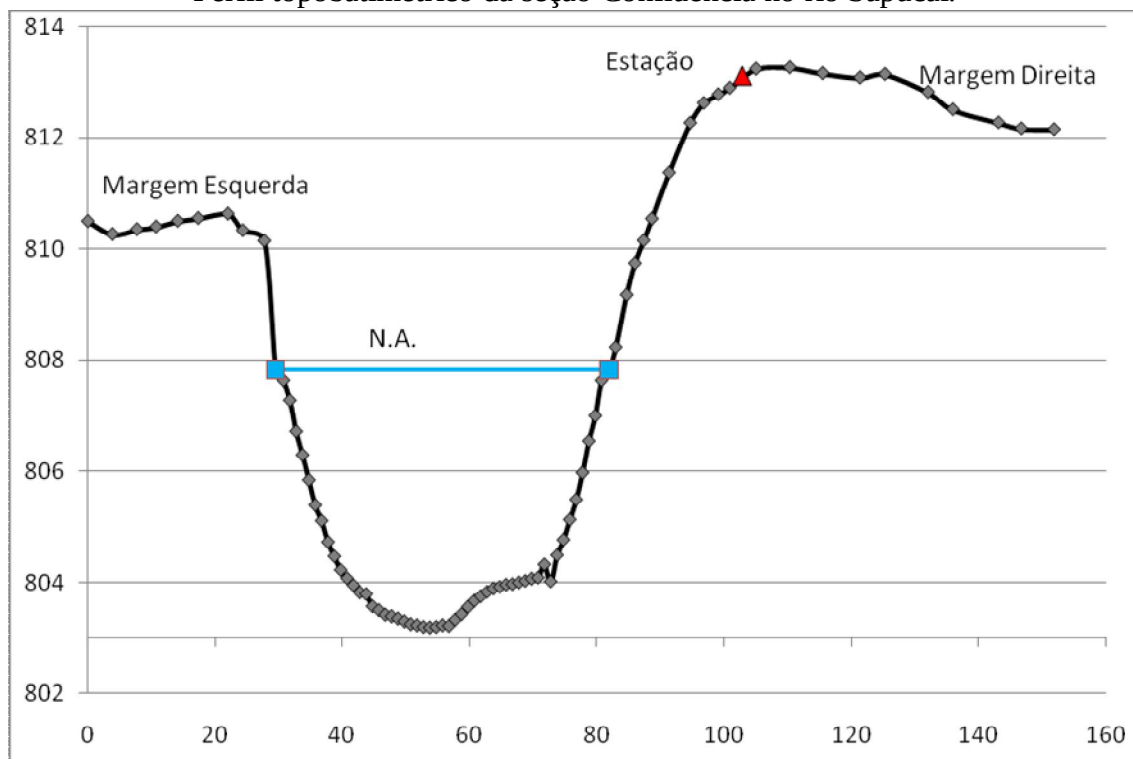
Perfil topobatimétrico da seção Olegário Maciel no rio Sapucaí.



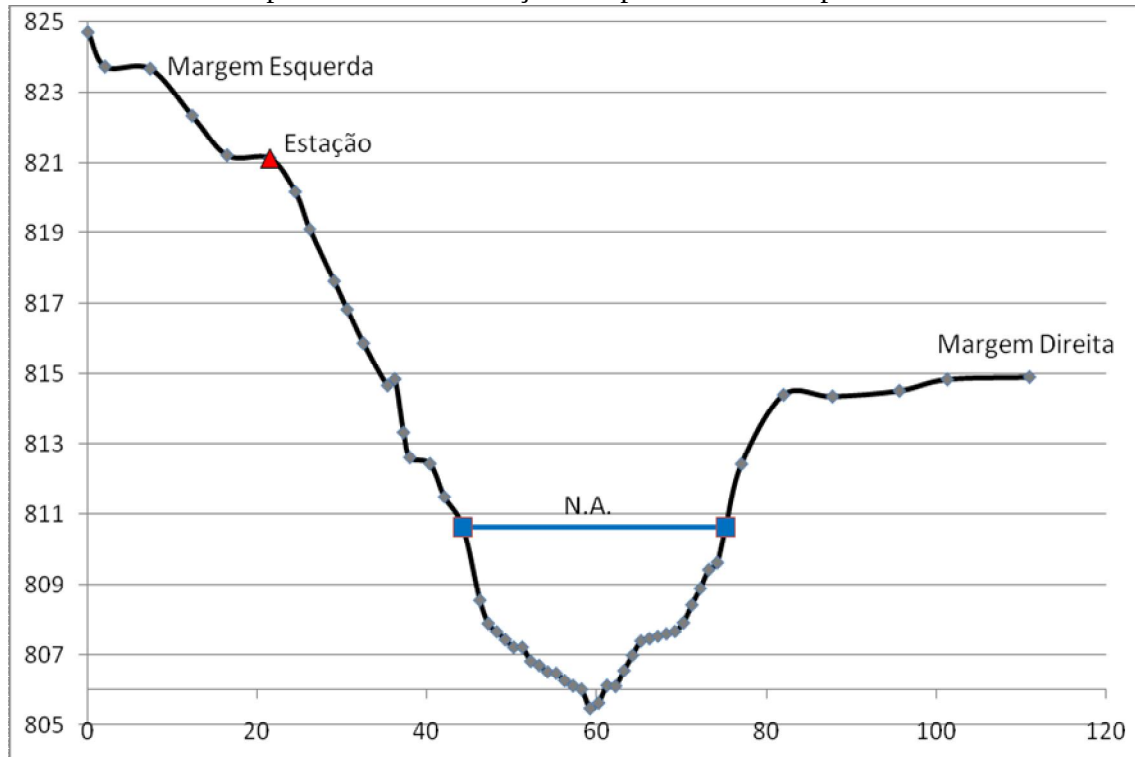
Perfil topobatimétrico da seção Santa Rita no rio Sapucaí.



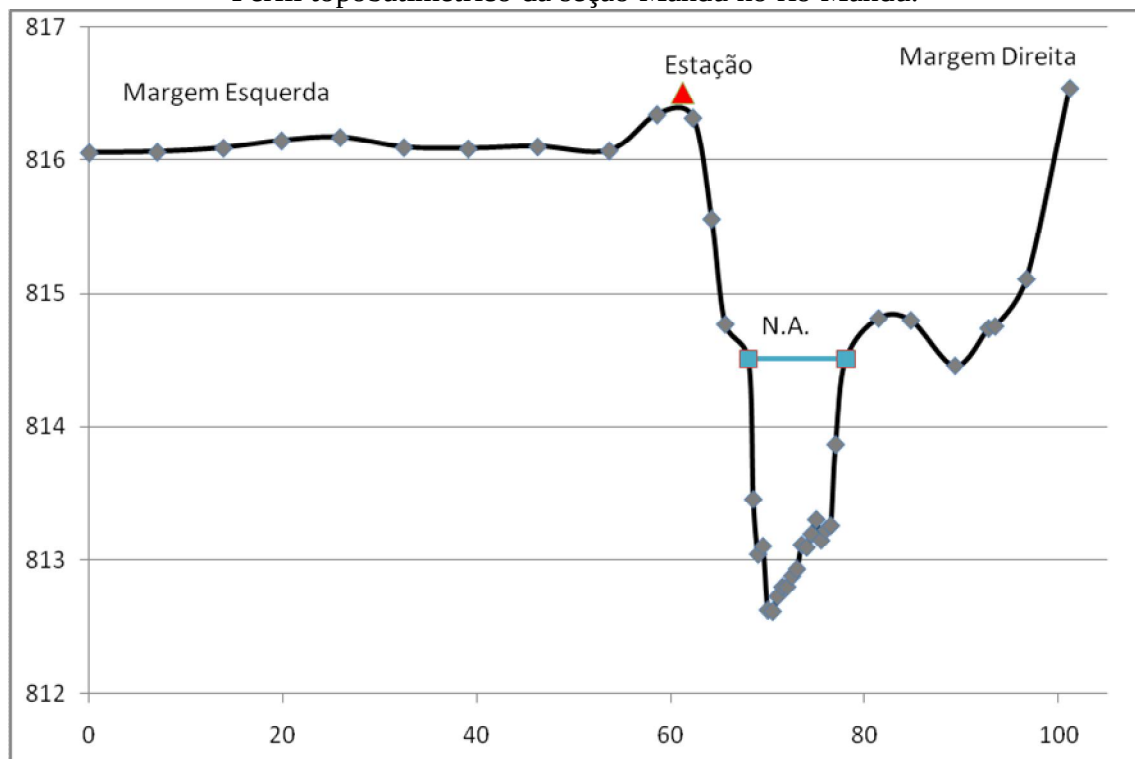
Perfil topobatimétrico da seção Confluência no rio Sapucaí.



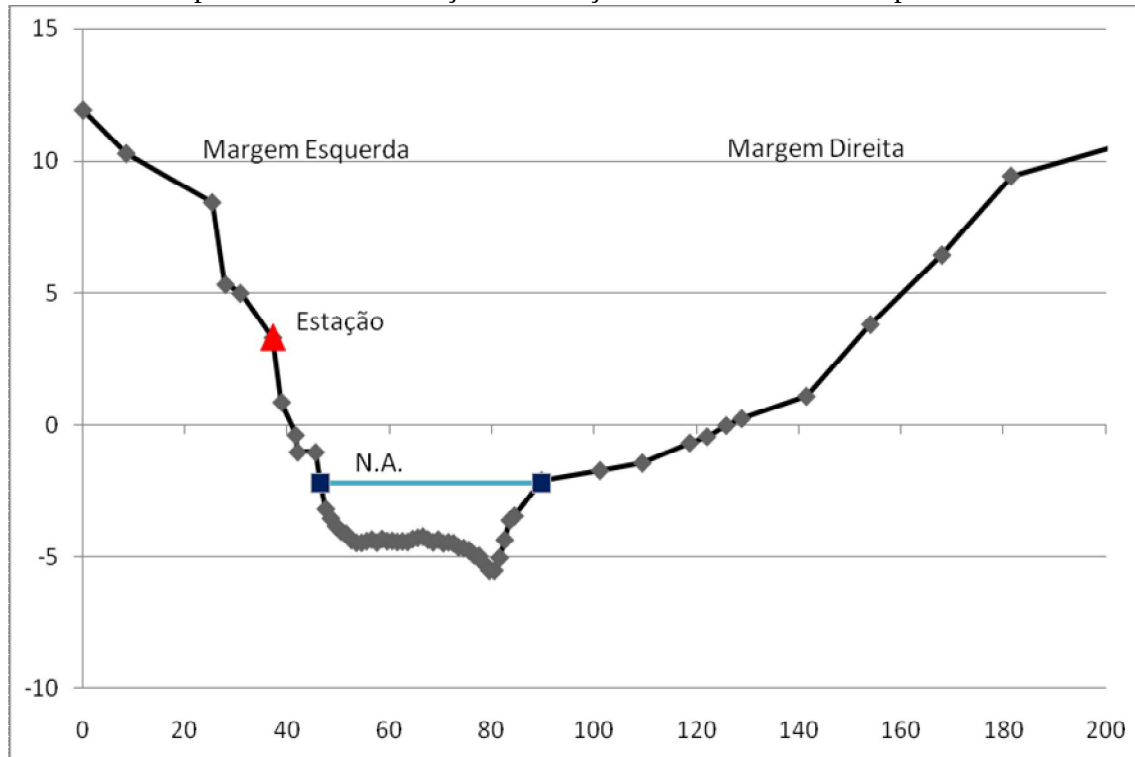
Perfil topobatimétrico da seção Chapadão no rio Sapucaí Mirim.



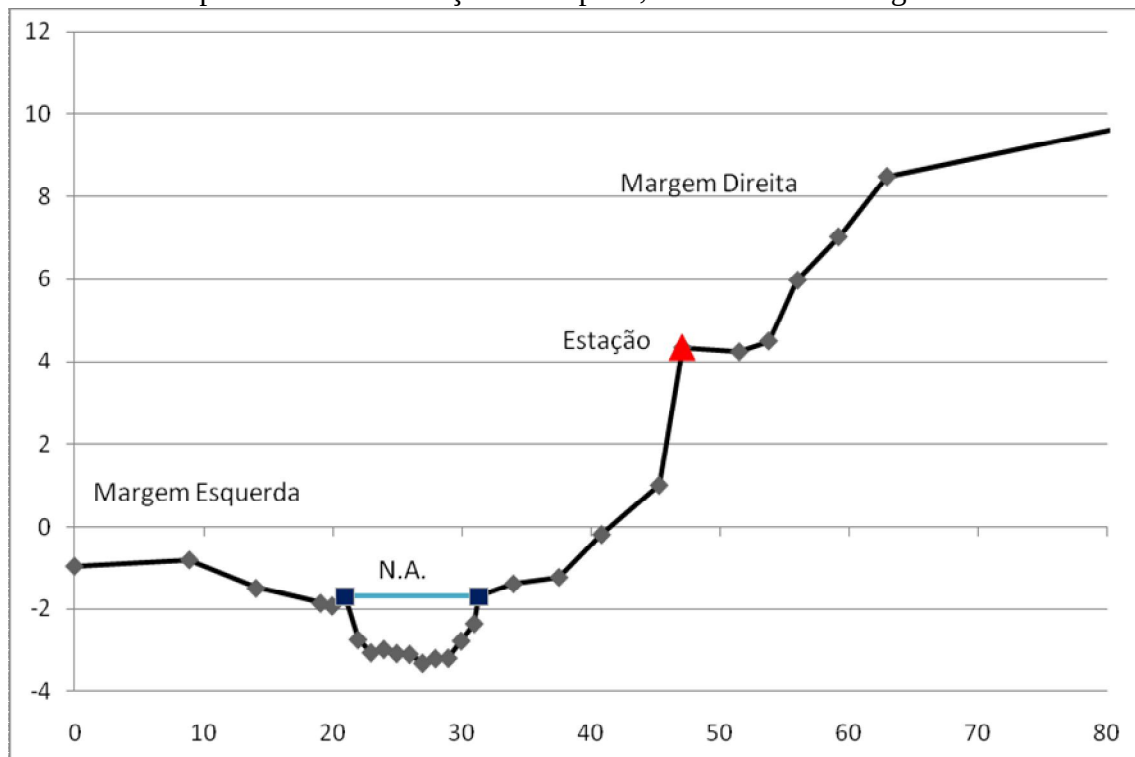
Perfil topobatimétrico da seção Mandu no rio Mandu.



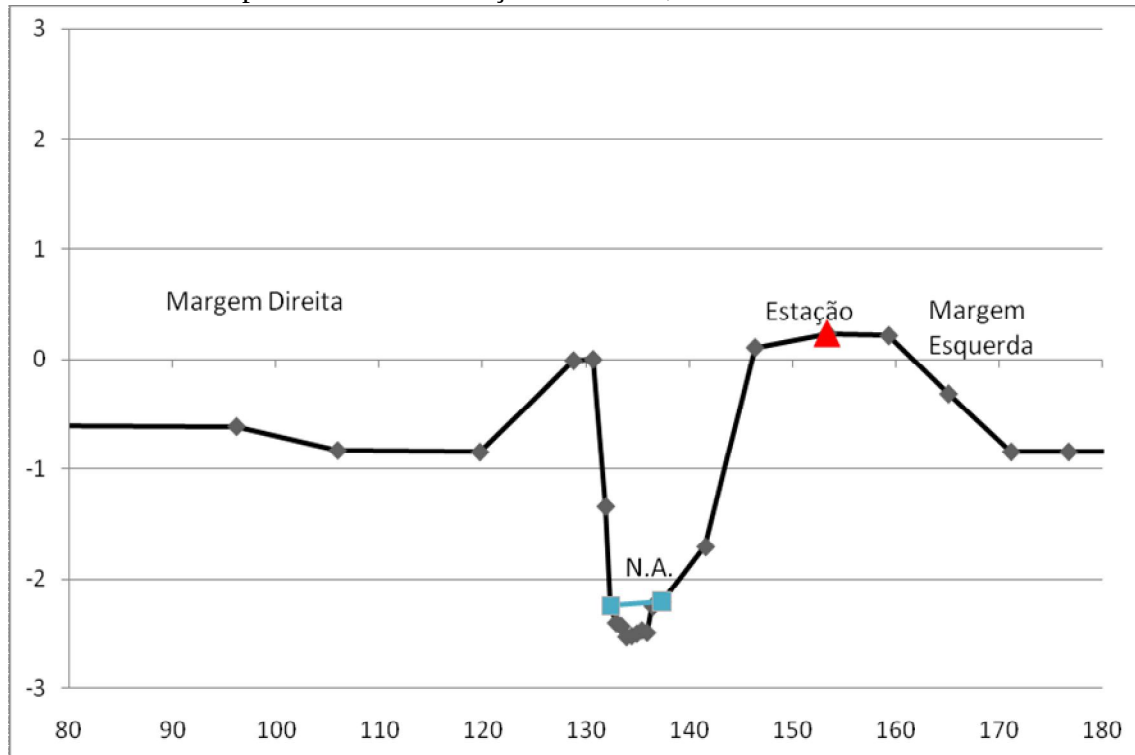
Perfil topobatimétrico da seção Conceição dos Ouros no rio Sapucaí Mirim.



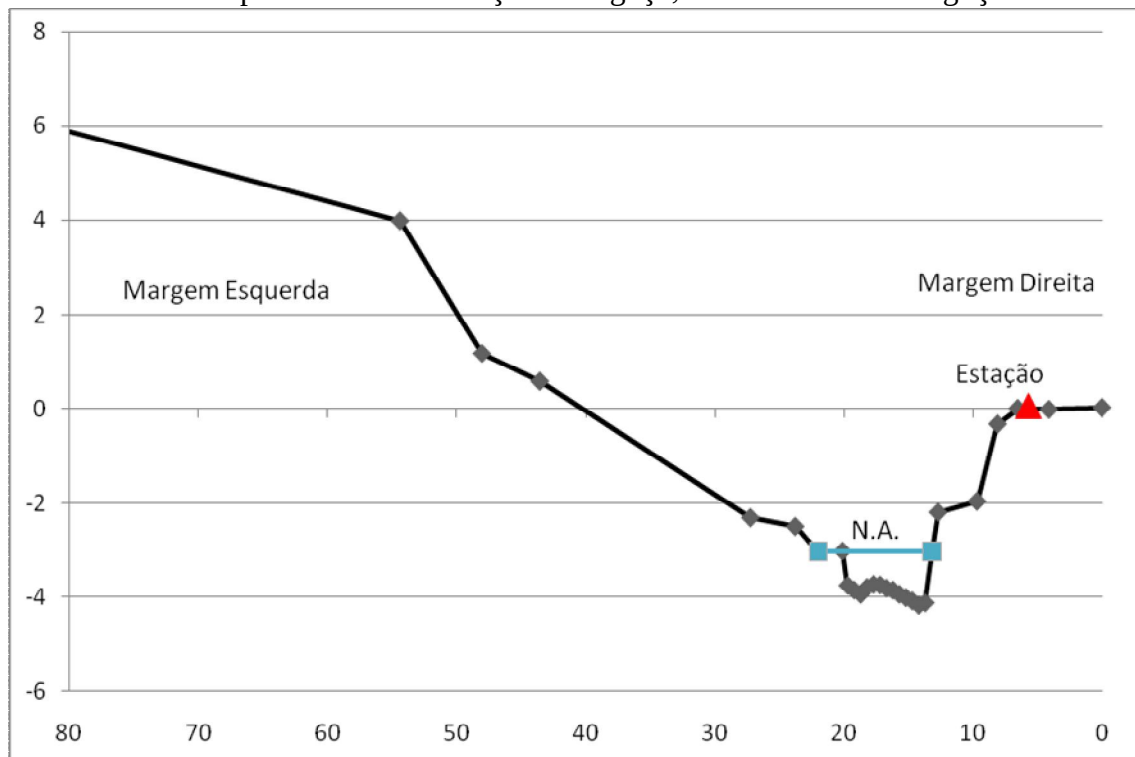
Perfil topobatimétrico da seção Brazópolis, no ribeirão da Vargem Grande.



Perfil topobatimétrico da seção Anhumas, no ribeirão das Anhumas.



Perfil topobatimétrico da seção Piranguçu, no ribeirão do Piranguçu.



Perfil topobatimétrico da seção Cambuí, no córrego do Cambuí.

