



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO
NA BACIA DO ALTO PARAGUAI - PANTANAL**

ARMANDO GARCIA ARNAL BARBEDO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
Co-orientador: Prof. Dr. Newton de Oliveira
Carvalho

Campo Grande, dezembro de 2003.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho objetivou o estudo hidrossedimentológico em importantes rios da Bacia do Alto Paraguai, através do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide e coorientação do Prof. Dr. Newton de Oliveira Carvalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A família e amigos.

Ao amigo e professor Dr. Carlos Nobuyoshi Ide, pelo apoio e orientação dados durante minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Newton de Oliveira Carvalho, pelos seus preciosos ensinamentos.

Aos professores do PGTA, pelos auxílios e sugestões oferecidos.

A ANA/GEF/PNUMA/OEA, pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

O comportamento hidrossedimentológico da Bacia do Alto Paraguai - BAP tem um grande impacto na dinâmica ambiental e na convivência entre a população da região e nos sistemas aquáticos naturais.

Determinou-se, neste trabalho, as descargas líquidas e sólidas em pontos estratégicos dos rios da BAP, levantando dados históricos de hidrossedimentologia, para avaliação da evolução da produção de sedimentos ao longo das últimas décadas.

Diversos equipamentos de hidrossedimentologia, tais como amostradores de sedimentos em suspensão e do leito e molinetes fluviométricos, foram utilizados, determinando-se, com erros aceitáveis, a quantidade de sedimentos transportada pelos rios da BAP, bem como a evolução histórica, dando suporte à definição de medidas mitigadoras aos problemas que ocorrem na região relacionadas ao assunto.

A maioria dos valores observados nas campanhas de medição realizadas neste trabalho, encontra-se na ordem de grandeza dos obtidos por outros estudos. As taxas de transporte de sedimentos vêm aumentando com o tempo e a maior parte deste volume fica depositada no Pantanal (aproximadamente 58%). Registrou-se, também, o aumento da descarga líquida nos últimos anos, em decorrência da variabilidade climática ocorrida.

A rede hidrossedimentométrica da Bacia do Alto Paraguai é deficiente, com dados descontínuos e insuficientes para estudos mais detalhados. Recomenda-se, portanto, que a rede seja ampliada e o monitoramento seja freqüente e continuado.

Palavras-chave: hidrossedimentologia, Bacia do Alto Paraguai, transporte de sedimentos.

ABSTRACT

The behavior hydrossedimentologic of the Upper Paraguay River Basin – BAP has a great impact in the environmental dynamics and in the coexistence between the population of the area and in the natural aquatic systems.

In this work, the liquid and solid discharges determination were carried out, in strategic points of the rivers of BAP, searching historical data of hydrossedimentology, for evaluation of the evolution of the production of sediments along the last decades.

Several hydrossedimentology equipments, such as samplers of suspension sediments and of the bed and current meter, they were used, being determined, with acceptable mistakes, the amount of sediments transported by the rivers of Upper Paraguay River Basin, as well as the historical evolution, giving support the definition of mitigate measures to problems that happen in the area related to the subject.

Most of the values found in the mensuration campaigns accomplished in this work, it meets in the order of greatness obtained by other studies. It was observed that the rates of sediments transportation come increasing along the time and most of this volume stay deposited at the Pantanal (approximately 58%). It records, also, the increase of the liquid discharge in the last years, due to the happened climatic variability.

The hydrossedimentometric net of the Upper Paraguay River Basin is faulty, with discontinuous and insufficient data for more detailed studies. It is recommended, therefore, that the net become enlarged and the monitoring become frequent and continuous.

Keywords: hydrossedimentology, Upper Paraguay River Basin, transport of sediments.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Características da Região de Estudo: BAP	4
3.2. O Sedimento	8
3.3. Transporte de sedimentos	10
3.3.1. Sedimentos em suspensão	11
3.3.1.1. Amostragem pontual	12
3.3.1.2. Amostragem por integração na vertical	13
3.3.1.3. Equipamentos de amostragem de sedimentos em suspensão	16
3.3.2. Sedimento do leito	25
3.3.2.1. Equipamentos de amostragem de sedimentos do leito	27
3.4. Métodos de análise do material em suspensão e do leito	33
3.4.1. Evaporação e pesagem	34

3.4.2. Método de filtração	35
3.4.3. Método do tubo de retirada pelo fundo	37
3.4.4. Método de análise granulométrica pelo densímetro	39
3.4.5. Análise granulométrica por pipetagem	40
3.4.6. Método do peneiramento	41
3.4.7. Método do tubo de acumulação visual	42
3.5. Medição da descarga líquida	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1. Locais de amostragem	45
4.2. Medição da descarga líquida	45
4.3. Medição da descarga sólida	47
4.4. Critério de avaliação do aumento da vazão e da carga sólida nos cursos d'água	50
4.5. Outras informações	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1. Resultados das medições	52
5.2. Dados secundários, obtidos de trabalhos antecedentes	61
5.3. Comparação dos dados históricos com os dados obtidos pelo projeto	64
5.4. Comparações no presente estudo	66
5.4.1. Vazão, deflúvio sólido e produção de sedimentos em suspensão	66
5.4.2. Avaliação do aumento da vazão e da carga sólida nos cursos d'água	68
5.4.3. Comparação dos estudos	95
5.4.4. Avaliação do volume de sedimento depositado no Pantanal recentemente	96
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	102
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

LISTA DE FIGURAS

3.1. Bacia do Alto Paraguai.	5
3.2. Mapa de Fatiamento da Altimetria do Pantanal para curvas de nível interpoladas para equidistância de 10 metros.	6
3.3. Inundação das margens no Pantanal.	7
3.4. Características das seções entre o Planalto e o Pantanal.	7
3.5. Processo de destacamento mecânico.	9
3.6. Zonas de amostragem, medida e não-medida, numa vertical de amostragem da corrente com relação à velocidade de fluxo e concentração de sedimento.	11
3.7. Coletor de amostra d'água.	18
3.8. Amostrador US-DH-48.	19
3.9. Amostrador US-DH-59.	20
3.10. Amostrador US-D-43.	20
3.11. Amostrador US-D-49.	21
3.12. Amostrador US-P-46.	22
3.13. Amostrador US-P-61.	23
3.14. Amostrador US-D-77.	24
3.15. Amostrador de saca.	25
3.16. Amostrador do U. S. Waterways Experimental Station de material do leito.	27
3.17. Amostrador holandês de material do leito.	28
3.18. Amostrador Rock-Island de material do leito.	28
3.19. Amostrador de concha de material do leito.	29
3.20. Amostrador US-BMH-53 de material do leito.	30
3.21. Amostrador tipo Petersen de material do leito.	30
3.22. Amostrador tipo caçamba de raspagem para coleta de material do leito.	31

3.23. Amostrador US-BMH-54 de material do leito.	32
3.24. Amostrador US-BMH-60 de material do leito.	32
3.25. Amostrador Mundorf de material do leito.	33
3.26. Cadinho de Gooch.	36
3.27. Tubo de retirada pelo fundo.	38
3.28. Densímetros para uso em análise granulométrica.	40
3.29. Distribuição dos pontos de medidas.	43
4.1. Localização dos pontos de coleta de amostras.	46
4.2. Molinete fluviométrico.	45
4.3. Amostrador de saca.	47
4.4. Amostrador de água.	48
4.5. Tubo de retirada pelo fundo.	50
5.1. Curvas-chave de sedimentos em suspensão - bacia do Pantanal.	65
5.2. Produção de sedimentos em suspensão em função da área de contribuição em comparação com valores normais de produção de sedimentos para os EUA.	67
5.3. Curva-chave de sedimentos – Rio Paraguai em Cáceres.	70
5.4. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Paraguai em Cáceres.	70
5.5. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Paraguai em Cáceres.	71
5.6. Curva de Massas – Rio Paraguai em Cáceres.	71
5.7. Curva-chave de sedimentos – Rio Manso em Porto de Cima.	72
5.8. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Manso em Porto de Cima.	72
5.9. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Manso em Porto de Cima.	73
5.10. Curva de Massas – Rio Manso em Porto de Cima.	73
5.11. Curva-chave de sedimentos – Rio Cuiabá em Cuiabá.	74
5.12. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Cuiabá em Cuiabá.	74

5.13. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Cuiabá em Cuiabá.	75
5.14. Curva de Massas – Rio Cuiabá em Cuiabá.	75
5.15. Curva-chave de sedimentos – Rio Jorigue em Pedra Preta.	76
5.16. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Jorigue em Pedra Preta.	76
5.17. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Jorigue em Pedra Preta.	77
5.18. Curva de Massas – Rio Jorigue em Pedra Preta.	77
5.19. Curva-chave de sedimentos – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.	78
5.20. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.	78
5.21. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.	79
5.22. Curva de Massas – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.	79
5.23. Curva-chave de sedimentos – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.	80
5.24. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.	80
5.25. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.	81
5.26. Curva de Massas – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.	81
5.27. Curva-chave de sedimentos – Rio Piquiri em Estrada BR-163.	82
5.28. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Piquiri em Estrada BR-163.	82
5.29. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Piquiri em Estrada BR-163.	83
5.30. Curva de Massas – Rio Piquiri em Estrada BR-163.	83
5.31. Curva-chave de sedimentos – Rio Cuiabá em Porto Alegre.	84
5.32. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Cuiabá em Porto Alegre.	84
5.33. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Cuiabá em Porto Alegre.	85

5.34. Curva de Massas – Rio Cuiabá em Porto Alegre.	85
5.35. Curva-chave de sedimentos – Rio Taquari em Coxim	86
5.36. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Taquari em Coxim.	86
5.37. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Taquari em Coxim.	87
5.38. Curva de Massas – Rio Taquari em Coxim.	87
5.39. Curva-chave de sedimentos – Rio Miranda em Estrada MT-738.	88
5.40. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Miranda em Estrada MT-738.	88
5.41. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Miranda em Estrada MT-738.	89
5.42. Curva de Massas – Rio Miranda em Estrada MT-738.	89
5.43. Curva-chave de sedimentos – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.	90
5.44. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.	90
5.45. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.	91
5.46. Curva-chave de sedimentos – Rio Aquidauana em Aquidauana.	91
5.47. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Aquidauana em Aquidauana.	92
5.48. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Aquidauana em Aquidauana.	92
5.49. Curva de Massas – Rio Aquidauana em Aquidauana.	93
5.50. Curva-chave de sedimentos – Rio Paraguai em Porto Esperança.	93
5.51. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Paraguai em Porto Esperança.	94
5.52. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Paraguai em Porto Esperança.	94
5.53. Curva de Massas – Rio Paraguai em Porto Esperança	95
5.54. Bacia do Alto Paraguai - Esquema de áreas de produção de sedimento e de sedimentação.	101

LISTA DE TABELAS

3.1. Amplitude de vários métodos de análises granulométricas.	34
3.2. Distância recomendada entre verticais.	43
3.3. Cálculo da velocidade média na vertical (método detalhado).	44
5.1. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 1 (R1P01C, R1P02C, R1P03C).	52
5.2. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P01C, R2P02C, R2P04C).	52
5.3. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P07C, R2P12C, R2P13C).	53
5.4. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P14C, R2P27C, R2P29C).	53
5.5. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 3 (R3P1C, R3P5C, R3P9C).	54
5.6. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 3 (R3P10C, R3P11C, R3P12C)	54
5.7. Rio Negro em Fazenda Rio Negro – Dia 12.10.2002.	55
5.8. Rio Aquidauana em Fazenda Porto Ciríaco – Dia 13.10.2002.	56
5.9. Rio Miranda em Fazenda Guaicurus, montante Tição de Fogo – Dia 17.10.2002.	56
5.10. Rio Cuiabá em Fazenda São João – Dia 27.11.2002.	56
5.11. Rio São Lourenço em São José do Borireu – 28.11.2002.	57
5.12. Rio Piquiri em São José do Piquiri – Dia 30.11.2002.	57
5.13. Rio Paraguai em Bela Vista do Norte – 02.12.2002.	57
5.14. Rio Paraguai em Ladário – Dia 06.12.2002.	58
5.15. Rio Paraguai-Mirim em Fazenda Caieira – Dia 07.12.2002.	58
5.16. Rio Paraguai em Porto Murtinho – Dia 11.12.2002.	58
5.17. Rio Apa próximo à Foz – Dia 12.12.2002.	59

5.18. Rio São Lourenço em Fátima do São Lourenço – Dia 21.01.2003.	59
5.19. Rio Taquari a montante da foz do Coxim – Dia 25.01.2003.	59
5.20. Rio Coxim próximo à Foz – Dia 26.01.2003.	60
5.21. Rio Itiquira em Fazenda Porto Seguro – Dia 29.01.2003.	60
5.22. Rio Piquiri a montante da foz do Rio Correntes – 31.1.2003.	60
5.23. Rio Correntes em UHE Ponte de Pedra – Dia 31.1.2003.	61
5.24. Postos sedimentométricos operados durante o Projeto Pantanal do DNOS e UNESCO (medições realizadas pela Hidrologia S.A.).	62
5.25. Produção de sedimento em suspensão de locais com postos fluviométricos (DNOS – período 1977/1982 e ANA – período 1999-2002).	66
5.26. Taxas de aumento do transporte de sedimento verificadas nos diversos períodos estudados.	69
5.27. Resumo da análise dos gráficos de vazão, descarga sólida e curva de massa.	97
5.28. Cálculos de descarga sólida acumulada em 25 anos considerando taxa média anual de 10%, na Alta Bacia e em Porto Esperança.	99
5.29. Resumo dos cálculos de altura de degradação e de elevação.	100

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BAP – Bacia do Alto Paraguai

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento

DTS – Descarga Total de Sedimentos

EFNoB – Estrada de Ferro Noroeste do Brasil

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEMA – Fundo Estadual do Meio Ambiente

GEF – Global Environmental Facility

IID – Igual Incremento de Descarga

III – Igual Incremento de Largura

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

OEA – Organização dos Estados Americanos

PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Q – Descarga Líquida

Q_{ss} – Descarga Sólida em Suspensão

Q_{st} – Descarga Sólida Total

SL – Sedimentos do Leito

SS – Sedimentos em Suspensão

UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

1. INTRODUÇÃO

O comportamento hidrossedimentológico da Bacia do Alto Paraguai - BAP tem um grande impacto no comportamento ambiental e na convivência entre a população da região e nos sistemas aquáticos naturais.

Na parte superior da bacia (acima da cota 200m) encontram-se os Planaltos e Depressões, em que o comportamento dos processos naturais assemelha-se às bacias hidrográficas tradicionais, com fluxo predominante no sentido longitudinal e com tempo de resposta de horas ou poucos dias, na relação entre precipitação-vazão.

Na parte inferior (abaixo da cota 200m), encontra-se a Planície, uma região de Terras Úmidas (*wetland*) com um comportamento hidrológico diferenciado pelos grandes tempos de deslocamento do escoamento e grandes áreas de inundação.

A expansão das áreas cultivadas e com pastagens nos Planaltos e Depressões tem intensificado o desmatamento iniciado por volta da década de 70, gerando áreas ambientais frágeis, devido ao aumento do escoamento superficial e produção de sedimentos. Além disso, houve aumento da precipitação média após esse período, criando um impacto significativo na estrutura morfológica dos rios do Pantanal e um aumento da erosão nas sub-bacias dos Planaltos do entorno.

A ocupação territorial do Estado de Mato Grosso do Sul foi baseada na agropecuária. O grande avanço da agricultura se deu no início da década de setenta, com a substituição do cerrado, de forma acelerada, pela monocultura de soja. A introdução dessa cultura em algumas regiões, tal como a denominada Chapadão, município de São Gabriel do Oeste, foi realizada de forma tão rápida, que a grande maioria dos produtores não teve preocupação com a conservação dos solos, a manutenção de reservas florestais e a proteção dos mananciais de água.

A agricultura ali implantada, como em outras regiões do Estado, é altamente tecnificada, com o uso intensivo de maquinário agrícola, de sementes certificadas, corretivos de solos, fertilizantes e de defensivos agrícolas. Aliado a isso, no Estado, o desenvolvimento econômico do setor agroindustrial, tem-se mostrado bastante significativo.

Estas atividades, principalmente no planalto, passaram a gerar grande quantidade de sedimentos para os rios da BAP, tornando necessário conhecer com exatidão a extensão dos danos, para buscar a solução dos problemas e preservar o Pantanal.

Técnicas de amostragem, levam em conta a precisão necessária e o equipamento disponível. Os erros devem ser minimizados, com equipamentos adequados e equipes bem treinadas. No laboratório, escolher métodos de análise que sejam condizentes com a quantidade de sedimentos na amostra, fornecendo concentrações e granulometrias do sedimentos em suspensão e do leito. O método de cálculo deve ser apropriado às características no rio.

Procura-se, portanto, neste trabalho, quantificar a extensão dos danos causados pela ação antrópica, através da avaliação e análise da evolução do transporte de sedimentos dentro da BAP.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Determinar as descargas líquidas e sólidas em pontos estratégicos dos rios da BAP.

2.2. Objetivos Específicos

Levantar dados históricos de hidrossedimentologia, para avaliação da evolução da produção de sedimentos ao longo das últimas décadas.

Calcular o balanço de massa na região do Pantanal, determinando a quantidade de sedimentos retida.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características da Região de Estudo: BAP

A área da BAP é de 496.000km², incluindo áreas da Bolívia e dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Os principais rios formadores do rio Paraguai são o Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Taquari, Miranda e Negro, todos na margem esquerda. Esta bacia possui duas áreas geográficas predominantes, o Planalto e o Pantanal (TUCCI, 1999).

Segundo BRASIL (1997), para analisar a BAP é necessário antes caracterizar a sua divisão física fundamental, diretamente ligada a altitude, conforme se observa nas Figuras 3.1 e 3.2, que é a seguinte:

- Na parte superior (acima da cota 200m) encontra-se a região denominada de Planalto, onde o comportamento dos processos naturais se assemelha as bacias hidrográficas tradicionais, com fluxo predominantemente no sentido longitudinal e com tempo de resposta de horas ou de poucos dias na relação entre precipitação-vazão;
- Na parte inferior (abaixo da cota 200 m) encontra-se a Planície que é uma grande área inundável, com um comportamento hidrológico diferenciado pelos grandes tempos de deslocamento do escoamento e pelas grandes áreas de inundação.

A BAP, no lado brasileiro, encontra-se dentro dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Na região, como um todo, existe crescimento de atividade agropastoril que pressiona o uso do solo rural e, em consequência, pode produzir impactos ambientais que comprometem o meio ambiente. O Pantanal tem sido utilizado principalmente para criação de gado, enquanto que no Planalto, uma das principais atividades é o cultivo anual, com predominância da soja. Esse processo de desmatamento para cultivo anual, iniciado na década de 70, gerou áreas ambientais frágeis, devido ao aumento do escoamento superficial e à produção de sedimentos. Além disso, houve aumento da precipitação média após esse período, criando um impacto importante na estrutura morfológica dos rios do Pantanal e aumento importante do ravinamento nas sub-bacias do Planalto (BRASIL, 1997).

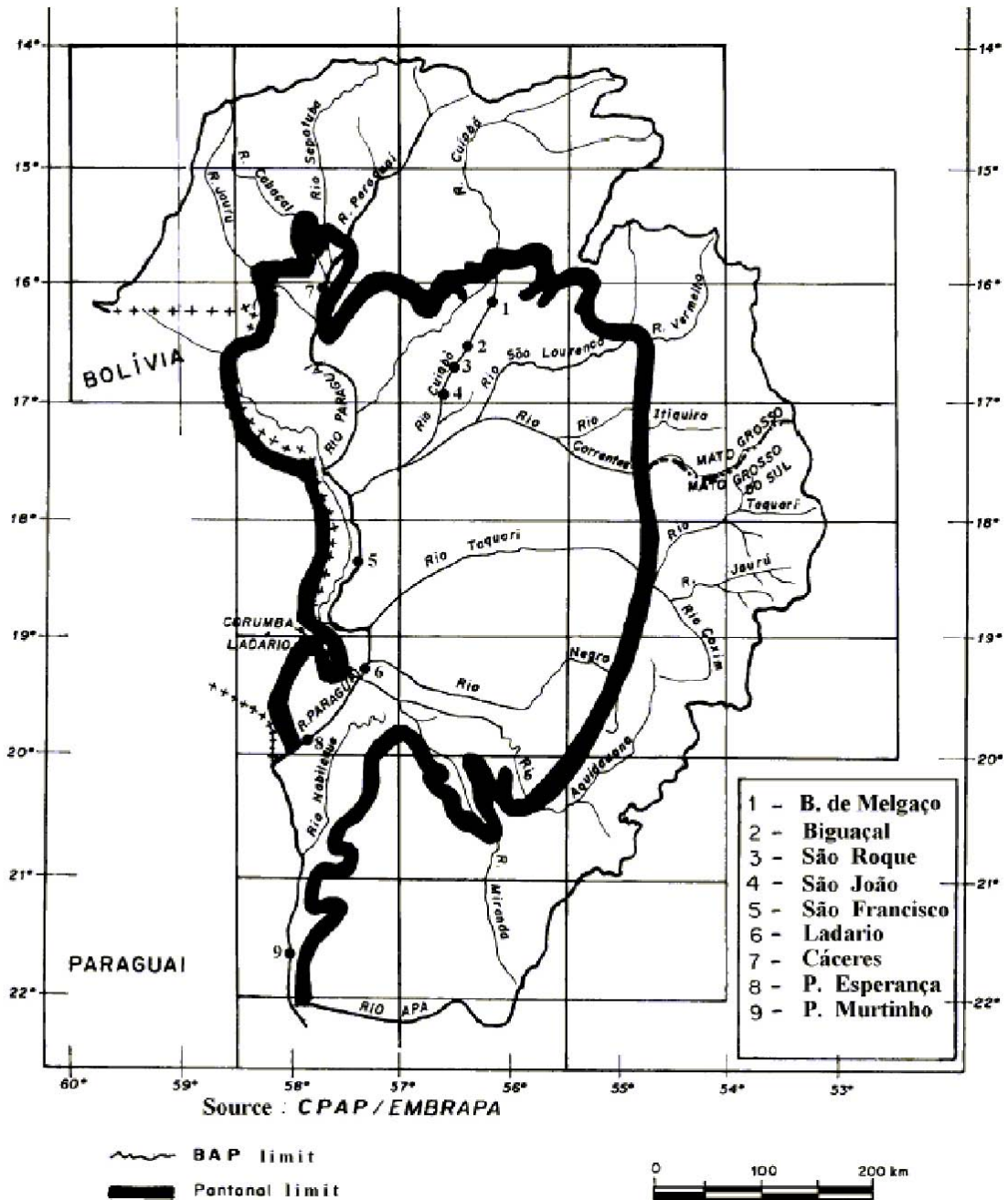


Figura 3.1. Bacia do Alto Paraguai.

Fonte: IPH (1994)

O solo apresenta grande fragilidade em parte importante da região, o que tem gerado grande produção de sedimentos devido ao crescimento da atividade antrópica. O escoamento proveniente do Planalto esco diretamente para o Pantanal, dessa forma, todas as ações produzidas no Planalto podem produzir impactos diretos sobre o Pantanal e para jusante em águas internacionais de Paraguai, Bolívia e Argentina. A precipitação anual é inferior a evapotranspiração potencial, a capacidade de escoamento dos rios é pequena, inundando toda

a planície, formando uma das mais importantes áreas inundáveis do mundo (TUCCI, 2002). O Pantanal funciona como um grande reservatório de regularização de vazão, que retém grande parte do volume proveniente do Planalto e regulariza a vazão. O sistema perde por evaporação parte importante do volume proveniente de montante e precipitado na área devido a baixa capacidade de escoamento dos rios e das lagoas que se formam (TUCCI, 2001). No Pantanal, pequenas diferenças de cotas altimétricas refletem em grandes áreas de inundação devido tratar-se de uma grande planície sedimentar, conforme se observa na Figura 3.3 (PADOVANI, 2000).

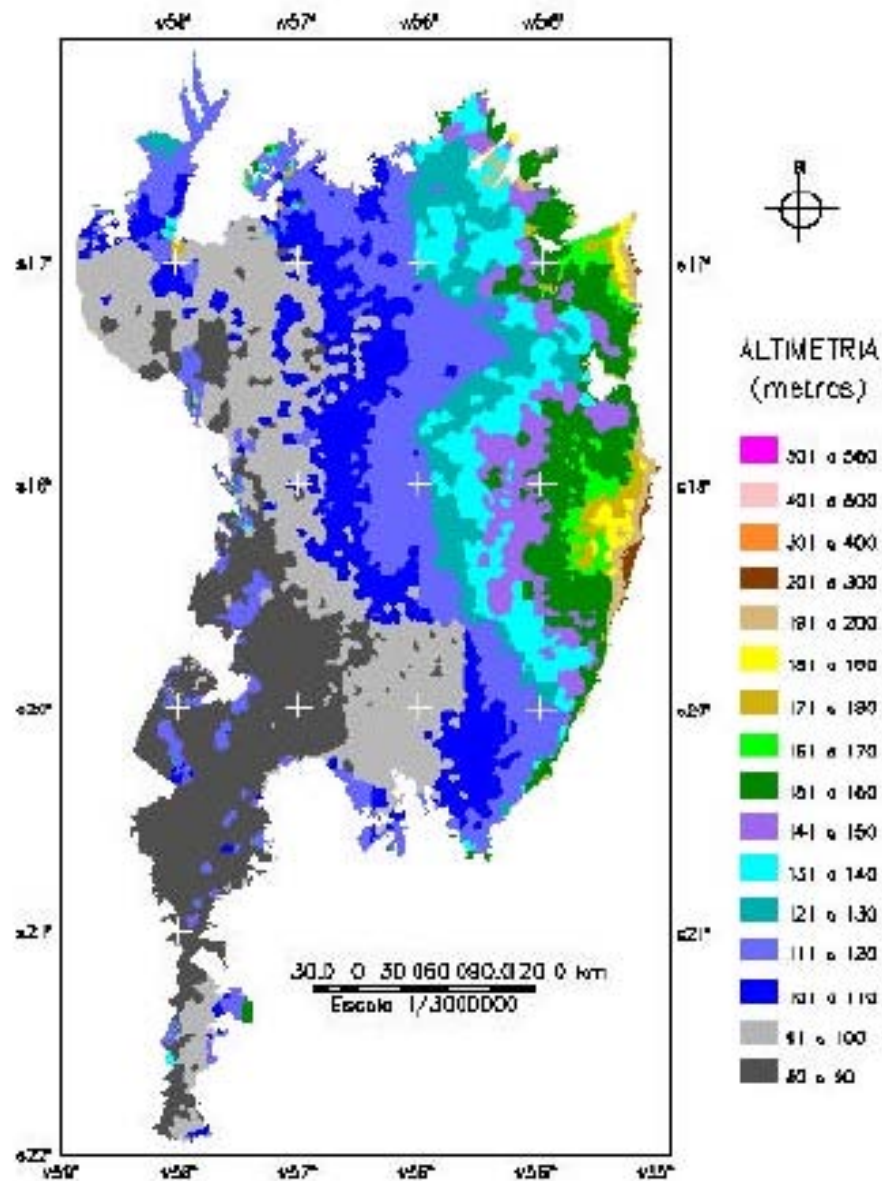


Figura 3.2. Mapa de Fatiamento da Altimetria do Pantanal para curvas de nível interpoladas para equidistância de 10 metros.

Fonte: PADOVANI (2000)

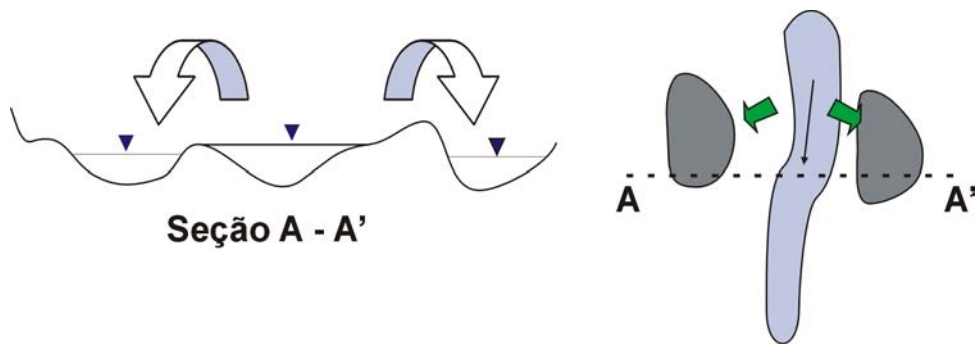


Figura 3.3. Inundação das margens no Pantanal.

Fonte: TUCCI (2001)

Os rios, ao entrarem no Pantanal, sofrem drástica redução de velocidade, decorrente da brusca mudança de declividade. Associado a este fenômeno, ocorre o assoreamento no leito e uma perda de poder erosivo que se traduzem por uma seção transversal menor que a do estirão a montante no Planalto, conforme apresenta a Figura 3.4. Durante as enchentes, como as seções a jusante, no Pantanal, têm capacidade de escoamento menor que a do Planalto, ocorrem extravasamentos para o leito maior. De acordo com a magnitude das enchentes, são atingidas áreas com maior ou menor extensão. Por outro lado, a planície pantaneira é ocupada por um grande número de depressões que, quando cheias, formam uma paisagem de pequenos lagos que se interligam nas águas altas e represam as águas de parte da rede de drenagem depois que os níveis do rio principal baixam. Grande parte do volume de água correspondente ao hidrograma de montante, que extravasa para o leito maior, fica retido pelas depressões que não têm ligação superficial com o leito menor de drenagem principal do Pantanal (TUCCI, 2002).

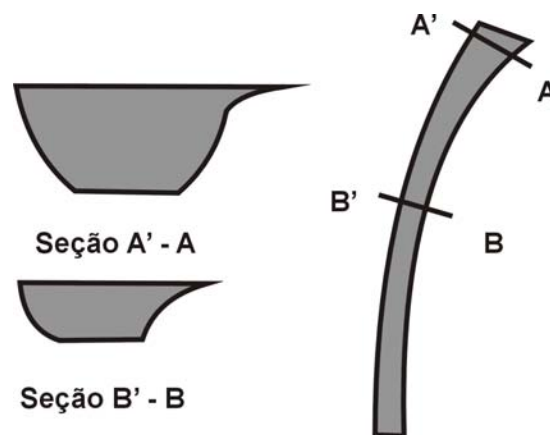


Figura 3.4. Características das seções entre o Planalto e o Pantanal.

Fonte: BRASIL (1997)

Levantamentos realizados por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais demonstram que, na Região do Cerrado restam apenas 25% de Cerrado não antropizado, ou seja, coberto por vegetação natural de Cerrado e Pantanal. Outros 25% seriam de cerrado antropizado, ou campos naturais utilizados para pastagens, áreas de vegetação queimada recentemente e em regeneração e áreas próximas às estradas, 22% corresponderiam a áreas ocupadas por atividades agrícolas, pecuárias, cidades, entre outros, e 28% estariam relacionados com cursos d'água e outras vegetações não características de Cerrado. Quer dizer, restaria em torno de 25% de áreas de Cerrado e Pantanal intocados, remanescentes de um processo de ocupação de apenas 50 anos, considerando o início da construção de Brasília (MANTOVANI & PEREIRA JÚNIOR, 1998).

3.2. O Sedimento

Sedimento é definido como sendo partículas ou resíduos transportados em meio fluido ou encontrados em depósito após transporte por água corrente, vento, ondas, geleiras e ação gravitacional (CHIEN & WAN, 1998).

Sedimentologia é a disciplina que estuda os sedimentos, levando em conta os processos hidroclimatológicos, enfatizando a relação água-sedimento, ou mesmo outros aspectos como aqueles tratados em Geologia, Agronomia e Mecânica dos Solos. É um assunto que tem grande importância mundial devido aos diversos problemas causados pelos sedimentos, em todo o Planeta. É necessário o seu conhecimento nos estudos, projetos e operação de obras fluviais, bem como conservação das terras e de recursos hídricos. A hidrossedimentologia trata dos aspectos do estudo de sedimentologia com o envolvimento restrito aos cursos d'água e lagos (CARVALHO, 1994).

O intemperismo de rochas é a principal origem do sedimento. que podem, ainda, ser provenientes de esqueletos, restos de criaturas vivas, cinzas vulcânicas, objetos ejetados durante erupções vulcânicas, magma no leito marinho ou escoando de fontes quentes e peças desintegradas de acrólitos passando pela atmosfera (CHIEN & WAN, 1998).

O intemperismo de rochas é a combinação de dois processos que ocorrem simultaneamente e se suplementam. São eles o destacamento mecânico e a decomposição química e sua importância relativa varia com o tempo e o espaço. Suas formas de atuação são descritas a seguir (CHIEN & WAN, 1998).

- Destacamento mecânico

Rochas podem ser quebradas em pedaços ou em partículas por ações mecânicas, como exemplifica a Figura 3.5. Três principais tipos de destacamento mecânico podem ocorrer (CHIEN & WAN, 1998):

- Destacamento de blocos: inicialmente ocorre quebra na superfície da rocha e, então, novas quebras vão ocorrendo, com o passar do tempo, até que uma grande massa se transforma em blocos menores.
- Desintegração em grãos: devido a ausência de coagulação entre grãos minerais individuais, rochas podem se desintegrar em pequenos grãos ou sedimento. Tal processo é limitado a rochas compostas por grãos grossos.
- Desprendimento de camadas: a camada externa de uma rocha pode se destacar das camadas internas, pela ação de determinadas forças. Conforme o tempo passa, a camada externa é removida e a camada interna é, então, exposta à atmosfera. O processo é repetido camada por camada.

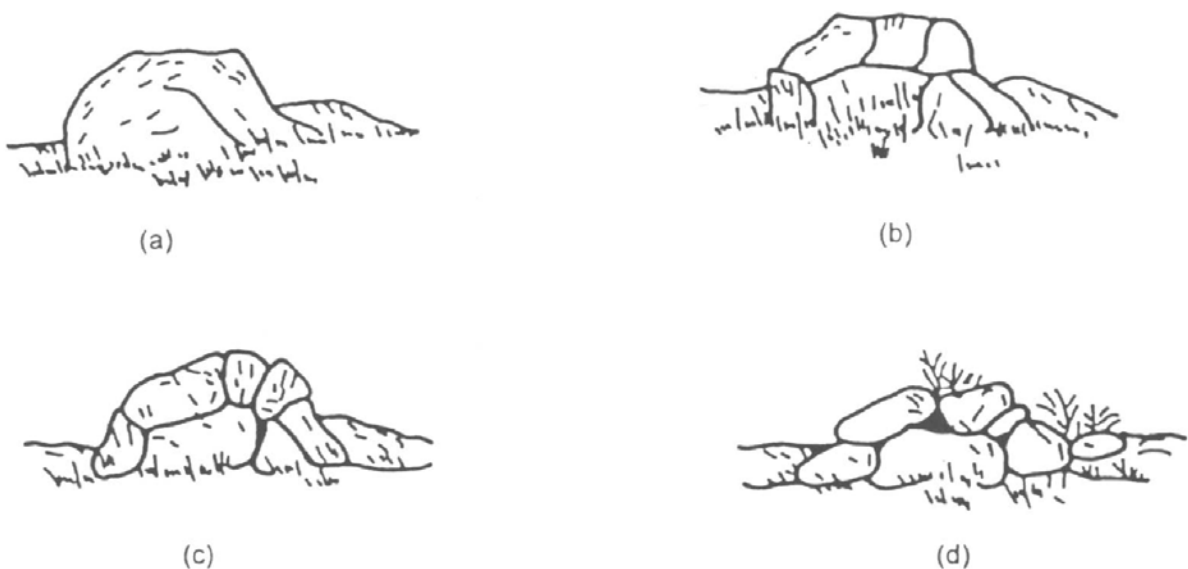


Figura 3.5. Processo de destacamento mecânico.

Fonte: CHIEN & WAN (1998)

- Decomposição química

As mudanças químicas ou minerais de rochas sob ação da atmosfera são chamadas de decomposição. Geralmente, a atmosfera é constituída de nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, gases inertes e vapor d'água. Sob certas condições ou áreas específicas, contém material ácido resultante de erupções vulcânicas ou resíduos industriais. Oxigênio, dióxido de carbono e materiais ácidos são transportados pela chuva até o solo; então eles infiltram na camada superficial do solo e entram em contato com rochas. Então a oxidação, hidrólise e dissolução tomam lugar, levando a decomposição das rochas. Também, a ação bioquímica, induzida por matéria orgânica, pode resultar em decomposição (CHIEN & WAN, 1998).

3.3. Transporte de sedimentos

Os sedimentos que chegam ao curso d'água têm diversas granulometrias e sofrerão um processo de transporte variado de acordo com as condições locais e escoamento. As formas de transporte sólido são discutidas separadamente, pois o fenômeno não está suficientemente entendido para permitir uma explicação completa e inter-relacionada. A seguir são apresentadas as definições mais utilizadas (CARVALHO, 1994):

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

É importante salientar que a quantificação e a determinação das faixas granulométricas do sedimento transportado é fundamental para a determinação de impactos ambientais pois, os

poluentes geralmente ficam associados ao sedimento fino, argila e silte referentes à granulometria $<63\mu\text{m}$, ou no sedimento do leito em partículas $<2000\mu\text{m}$. Os resultados obtidos são úteis nas correlações que associam sedimentos com poluentes (HOROWITZ, 1995).

3.3.1. Sedimentos em suspensão

A determinação da descarga sólida em suspensão é feita através de medições, ou amostragens, na seção transversal, que é medida em segmentos, uma vez que a distribuição de sedimentos nessa seção não é uniforme (CARVALHO, 1994).

Normalmente, a concentração de sedimentos em suspensão perto do leito é maior do que a média na vertical, no entanto, é impossível coletar essa amostra devido às limitações dos equipamentos. Assim, normalmente ter-se-á uma “zona não amostrada” perto do leito, que é de grande importância na determinação da descarga em suspensão, como mostra a Figura 3.6 (CARVALHO, 1994).

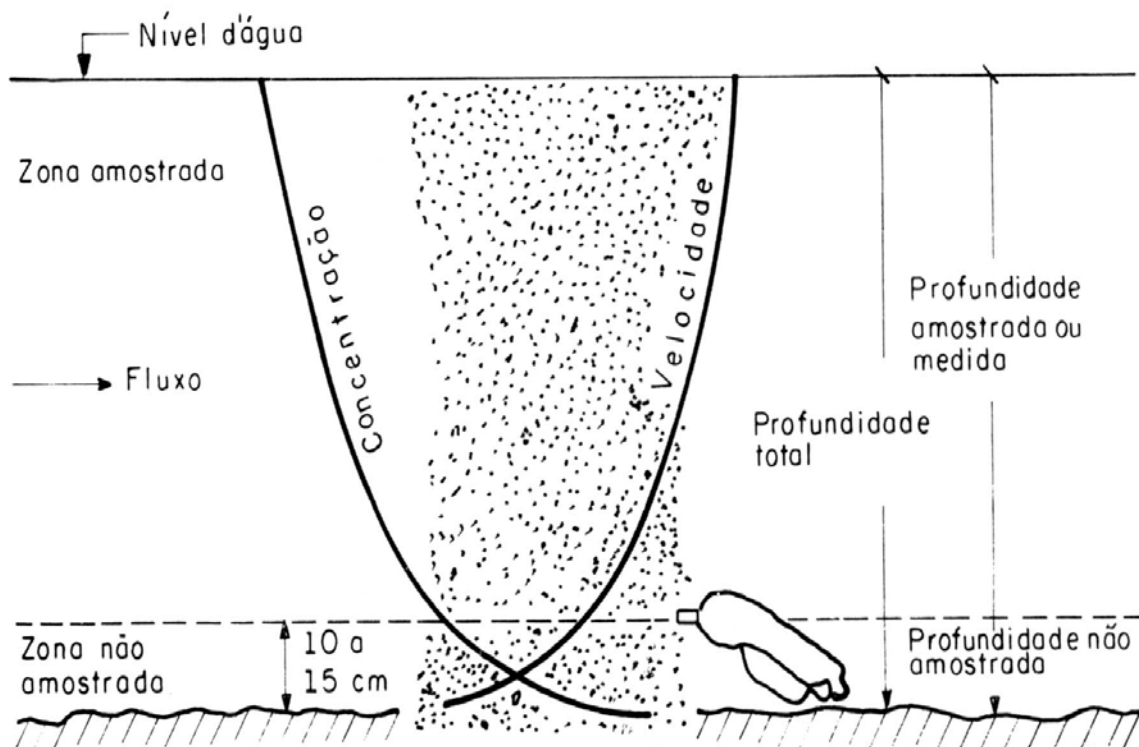


Figura 3.6. Zonas de amostragem, medida e não-medida, numa vertical de amostragem da corrente com relação à velocidade de fluxo e concentração de sedimento.

Fonte: CARVALHO (1994)

3.3.1.1. Amostragem pontual

A amostragem pontual pode ser instantânea quando a admissão da amostra no recipiente é feita instantaneamente, em pouquíssimos segundos, ou por integração, quando a admissão é feita lentamente, talvez mais de 10 segundos. A amostragem pontual é usada comumente para definir a distribuição vertical da concentração de sedimento e a granulometria na posição de coleta. É usada ainda para representar a concentração da seção, quando se tem um coeficiente de correção obtido de medições completas anteriores. Equipamentos de amostragem fixos são do tipo que efetuam medições pontuais e são instalados em posições adequadas, depois de devidamente estudado o comportamento do sedimento na seção (CARVALHO, 1994).

As amostragens no campo são feitas em posições da seção transversal, de modo a poder representar todo o sedimento contido no fluxo d'água passando na seção. As amostragens mais comuns, do tipo pontual, numa vertical, são (CEMIG, 1965):

- uma única amostra à superfície;
- uma única amostra a 0,6 da profundidade;
- uma única amostra em posição previamente estudada;
- duas amostras, uma perto da superfície e outra próxima ao fundo, sendo a concentração calculada pela média dos valores;
- três amostras, tomadas respectivamente, próximo à superfície, no meio da profundidade e outra próximo ao fundo, sendo a concentração calculada pela média dos valores;
- três amostras, uma próximo à superfície, uma no meio da profundidade e outra próximo ao fundo, sendo a concentração calculada pela média dos valores, atribuindo-se peso dois à do meio;
- amostras tomadas em vários pontos, para se estabelecer a distribuição vertical com necessária precisão;
- amostras tomadas em pontos definidos, com correções baseadas em conhecimentos prévios;

- método de Straub, com amostragens a 0,2 e a 0,8 da profundidade p , sendo a concentração média igual a:

$$C_m = \frac{3}{8} \times C_{0,8p} + \frac{5}{8} \times C_{0,2p} \quad (3.1)$$

- método de Luby, com amostragens nos centros de áreas de igual descarga nas diversas verticais; a área descrita pela curva de velocidades é dividida em partes iguais e os amostradores são locados nos centros destas;
- método de B. C. Colby, que recomenda dividir a profundidade da vertical em iguais porções, sendo as amostras feitas nos centros dessas; usam-se pontos a 1/10, 3/10, 5/10, 7/10 e 9/10 da profundidade; as concentrações são assim consideradas de acordo com as velocidades em cada profundidade amostrada; a curva de distribuição de velocidade pode ser obtida antes ou depois da amostragem; se é desejada uma amostra composta para a vertical, todas as amostras devem ser tomadas com o mesmo tempo.

3.3.1.2. Amostragem por integração na vertical

A amostragem por integração na vertical ou em profundidade é efetuada em maior tempo, 10 ou mais segundos, sendo feita em dois sentidos, de subida e de descida, normalmente, ou, excepcionalmente, em um só sentido, de descida ou de subida do amostrador. O amostrador é abaixado até quase o fundo do rio em uma velocidade constante e levantado de volta até a superfície, também numa velocidade constante, mas não necessariamente igual a de descida. A garrafa ou recipiente não deve ficar cheia no processo de amostragem por dois motivos principais: primeiro porque é mergulhada em posição inclinada, e segundo é que deve ser garantido que ainda estava em processo de amostragem no tempo considerado (CARVALHO, 1994).

Os bicos de amostradores são geralmente removíveis, para substituição, e fabricados apropriadamente para cada tipo de equipamento. Cada bico tem exigências em relação a velocidade de trânsito, que deve ser dada ao amostrador. Entende-se por “velocidade de trânsito” ou “velocidade de percurso”, V_t , a velocidade de descida ou de subida do equipamento numa amostragem por integração na vertical. Cada bico tem os valores máximos e mínimos para velocidades de trânsito, devendo-se seguir a indicação das razões entre estas velocidades de trânsito e a velocidade média da corrente na vertical.

As velocidades de trânsito máximas do amostrador são necessárias para que o equipamento desça e suba, na vertical de coleta, em posição adequada e que o bico receba a amostra na posição horizontal. O bico de 1/8" tem valor máximo de $V_t/V_m=0,2$ e os bicos 3/16" e 1/4", valores máximos da relação igual a 0,4. As mínimas velocidades de trânsito permitidas são aquelas que evitarão uma amostra excessivamente grande (CARVALHO, 1994).

O movimento de descida e subida do amostrador deve obedecer à velocidade de trânsito estudada para cada bico. Isso é importante porque uma descida rápida do amostrador o faria ficar com o seu corpo, e, conseqüentemente, o bico, inclinado para cima, provocando uma entrada irregular da amostra. Da mesma forma, uma subida rápida faria o bico ficar muito inclinado para baixo.

A partir de estudos que levaram em conta questões práticas e econômicas, chegou-se à conclusão de que o número e a locação das verticais de amostragem podem ser (CEMIG, 1965):

- uma única vertical no meio do rio ou em posição adequadamente estudada;
- uma única vertical no talvegue ou no local de maior profundidade;
- três verticais a 1/4, 1/2 e 3/4 da seção transversal;
- três verticais a 1/6, 1/2 e 5/6 da seção transversal;
- quatro ou mais verticais nos centros se segmentos iguais da seção transversal;
- verticais posicionadas a igual incremento de largura (método IIL);
- verticais posicionadas nos centros de iguais incrementos de descarga (método IID).

As amostragens por igual incremento de largura e por igual incremento de descarga são os métodos mais usados e mais recomendados. Os valores da concentração e de distribuição granulométrica são confiáveis. Ambos os métodos precisam do conhecimento prévio das velocidades na vertical, sendo que o segundo precisa também de conhecimento da distribuição do escoamento na seção (CARVALHO, 1994).

- Método de amostragem por igual incremento de largura

Como o nome indica, nesse método a seção transversal é dividida numa série de segmentos de igual largura, para obtenção de uma série de subamostras; sendo a velocidade de trânsito em cada vertical a mesma usada nas outras verticais, essas subamostras serão, portanto, compostas de volumes diferentes (CARVALHO, 1994).

Esse procedimento fornece uma amostra na seção com um volume proporcional à vazão na zona amostrada. As diversas subamostras podem ser reunidas numa só, composta em laboratório, para uma só análise de concentração e de granulometria (CARVALHO, 1994).

Para a execução da amostragem, o hidrometrista deve antes efetuar a medição da vazão; em seguida, dividir a seção transversal em $n+1$ segmentos iguais para obter n verticais; dentre estas, selecionar a de maior profundidade e de maior velocidade (ou o maior produto de profundidade pela velocidade), provavelmente no meio do rio ou do talvegue; calcular a velocidade média nessa vertical e multiplicar pela razão máxima, de 0,2 e 0,4, correspondente ao bico que será usado, para encontrar a velocidade de trânsito máxima; calcula-se o tempo para a posição escolhida dividindo-se o dobro da profundidade pela velocidade de trânsito calculada, encontrando-se o tempo de percurso mínimo em que deve ser feita a amostragem numa descida e subida do equipamento (CARVALHO, 1994).

A primeira vertical, na posição mais profunda, deve vir com o máximo de mistura água/sedimento, de $3/4$ a $4/5$ do volume da garrafa. Na mudança para as demais verticais, os tempos de amostragem deverão ser proporcionais às profundidades para que seja mantida a mesma velocidade de trânsito obtida na primeira vertical amostrada. Faz-se, então, uma regra de três com uso do tempo e da profundidade da primeira vertical amostrada com a profundidade da próxima vertical a amostrar (CEMIG, 1965).

- Método de amostragem por igual incremento de descarga

Este método exige o conhecimento prévio da distribuição da velocidade na vertical e da vazão na seção transversal. Essa é dividida em uma série de subseções nas quais há a mesma proporção de vazão. Em cada segmento é efetuada a amostragem por integração na vertical em posição tal que também divide a descarga parcial em partes iguais. Em cada seção individual, uma velocidade de trânsito é determinada, a fim de permitir um volume de amostra, para a vertical, que seja igual aos volumes individuais de cada uma das outras verticais. Dessa forma, o grupo de subamostras que são de mesmo volume representa a mesma proporção da vazão total através da zona amostrada. Tais subamostras podem ser

combinadas em laboratório para permitir uma só amostra composta. Caso as amostras individuais não tenham o mesmo volume, então será necessário analisá-las individualmente.

O procedimento no campo pode ser feito da forma a seguir: uma medição da descarga é efetuada na seção transversal, onde será feita a amostragem; a partir dessa medição, um gráfico deve ser construído, usando-se as porcentagens acumuladas de descargas parciais contra as respectivas distâncias (abscissas) na seção transversal (RINGEN (1978) *apud* CARVALHO, 1994).

Nesse método, procura-se coletar amostras de 5 a 15 verticais, de acordo com a largura do rio e as necessidades do laboratório.

A partir das velocidades médias entre as duas medições adjacentes à vertical de amostragem, calcula-se a velocidade de trânsito para cada vertical a ser amostrada, escolhendo-se o bico adequado e usando-se as profundidades intermediárias obtidas do desenho da seção transversal; calculam-se, em seguida, os tempos de percurso mínimos de amostragem. As amostras devem ser coletadas com o mesmo volume, sendo que as velocidades de trânsito podem ser diferentes. Como a velocidade de descida não é necessariamente igual à de subida, a condição a ser satisfeita é que o tempo de amostragem seja igual ao calculado. Nesse tipo de amostragem, o bico pode ser mudado de uma vertical para outra, caso seja conveniente (CARVALHO, 1994).

Uma inspeção visual da seção transversal deveria ser feita para verificar se há águas paradas ou correntes mais fortes, como aquelas provocadas por pilares ou obstruções (CARVALHO, 1994).

3.3.1.3. Equipamentos de amostragem de sedimentos em suspensão

Os equipamentos disponíveis no mercado podem ser de medição direta ou indireta de sedimento em suspensão. Neste trabalho foram utilizados apenas equipamentos de medição indireta, cujas características serão descritas posteriormente.

Os equipamentos para amostragem de uma mistura água/sedimento, para medição indireta da descarga em suspensão, podem ser classificados em três categorias (CARVALHO, 1994):

- Instantâneos: coletam um volume de água/sedimento pelo fechamento instantâneo por meio de dispositivos nas extremidades da câmara ou recipiente;

- Integração: acumulam no recipiente uma mistura água/sedimento em um certo tempo pela retirada do fluxo ambiente através de um pequeno bico ou bocal. Podem ser pontuais ou integradores na vertical;
- Bombedores: retiram a mistura em suspensão através de um orifício pela ação de bombeamento. Podem ser pontuais ou integradores na vertical.

Os amostradores por integração são preferidos porque obtêm uma mistura água/sedimento de um filete ao longo da corrente em um tempo adequado, para ser considerada uma amostra representativa. Podem ser movimentados através do fluxo e, com isso, amostrar em mais que um ponto, não requerem energia para o funcionamento ou complicados sensores de velocidade e equipamentos de ajustagens (CARVALHO, 1994).

No Brasil, os equipamentos mais comuns são os norte-americanos tradicionais. Os amostradores da série norte-americana são designados por códigos, cujos significados são descritos a seguir (CPRM, 1976):

- US: *United States*, dos Estados Unidos da América;
- D: *Depth Integrating*, de integração vertical;
- P: *Point Integrating*, de integração por ponto;
- BM: *Bed Material*, para material de fundo;
- H: *Hand*, uso manual (quando for utilizado guincho, o H é omitido);
- U: *Single Stage*, de estágio único;
- 48: 1948, ano de projeto do amostrador.

Os códigos correspondentes nacionais dos equipamentos são indicados como (CARVALHO, 1994):

- AMS-1: amostrador de material em suspensão, modelo 1;
- AMF-1: amostrador de material de fundo, modelo 1.

Demais amostradores de outros países, tais como os de fabricação francesa, holandesa ou chinesa, são pouco utilizados no Brasil.

A escolha de um equipamento de medição, ou de amostragem de sedimento, é sempre dependente das finalidades dos estudos, dos recursos humanos e financeiros, dos diversos equipamentos disponíveis, do porte do curso d'água, da quantidade da descarga sólida a medir, bem como de outras variáveis ou exigências.

A seguir são descritos os principais amostradores de sedimento em suspensão utilizados no Brasil (CARVALHO, 1994).

- **Coletor de amostra d'água**

O coletor de amostra d'água é um amostrador do tipo instantâneo, destinado principalmente a amostras para análise de qualidade d'água. É mergulhado com as válvulas laterais abertas até a profundidade desejada, quando é acionado um dispositivo que solta um peso mensageiro de fechamento, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

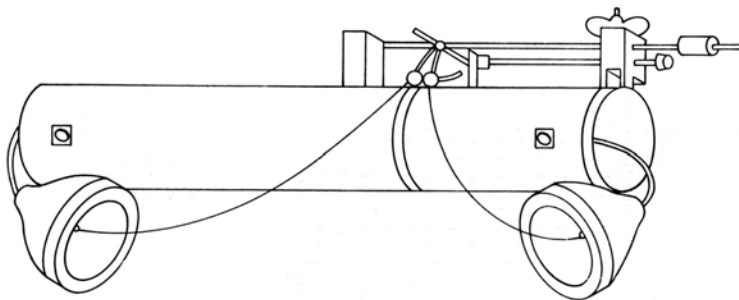


Figura 3.7. Coletor de amostra d'água.

Fonte: BRANCO *et al.* (1991)

- **Amostrador US-DH-48**

É um amostrador do tipo leve, para operação de haste ou cabo manual; pode ser operado a vau, de barco ou de ponte de pequena altura, em rios rasos. É integrador na vertical para profundidades até 1,5m, para coleta de amostra em suspensão, sendo calibrado com um bico de 1/4". O amostrador é feito de alumínio em forma hidrodinâmica, possui uma garrafa presa por mola, pesando o conjunto cerca de 3kg. A haste é graduada e serve para suspensão do amostrador. A Figura 3.8 apresenta o esquema de construção deste amostrador.

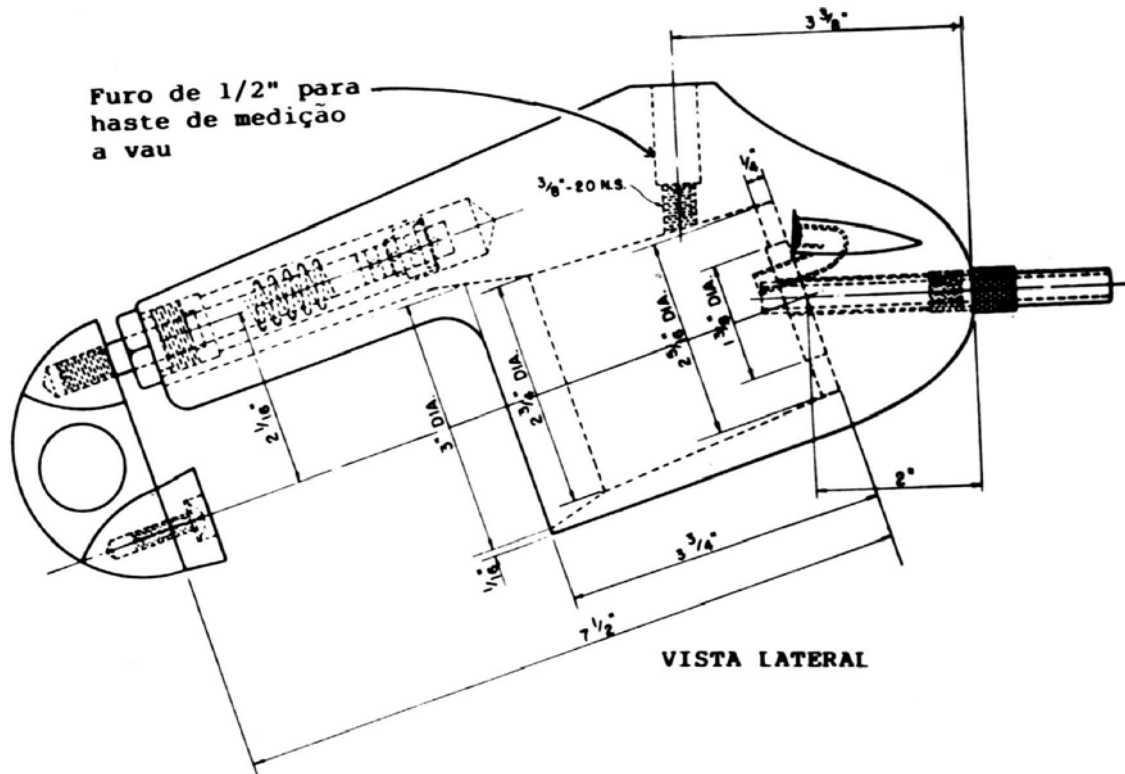


Figura 3.8. Amostrador US-DH-48.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-DH-59**

Amostrador fabricado para coleta de sedimento em suspensão, do tipo leve. Usa garrafa, tendo sido fabricado para uso com cabo de suspensão, podendo ser usado a vau, de uma ponte ou barco, em rios com velocidade até 1,5m/s. É integrador na vertical para profundidades até quase 5m, tendo três bicos calibrados para 1/8", 3/16" e 1/4" que são usados conforme as profundidades e velocidades da corrente. O amostrador é fundido em bronze, sendo de forma hidrodinâmica, conforme o esquema da Figura 3.9.

- **Amostrador US-D-43**

Amostrador adequado à integração na vertical, para profundidades até quase 5m, em velocidades da corrente até 2m/s. É mais pesado que os anteriores, tendo cerca de 25kg, devendo ser operado a guincho. Tem formato hidrodinâmico, ficando a garrafa completamente no seu interior, sendo colocada através de abertura na ogiva superior. Usa bicos de 1/8", 3/16" e 1/4". Seu esquema pode ser observado na Figura 3.10.

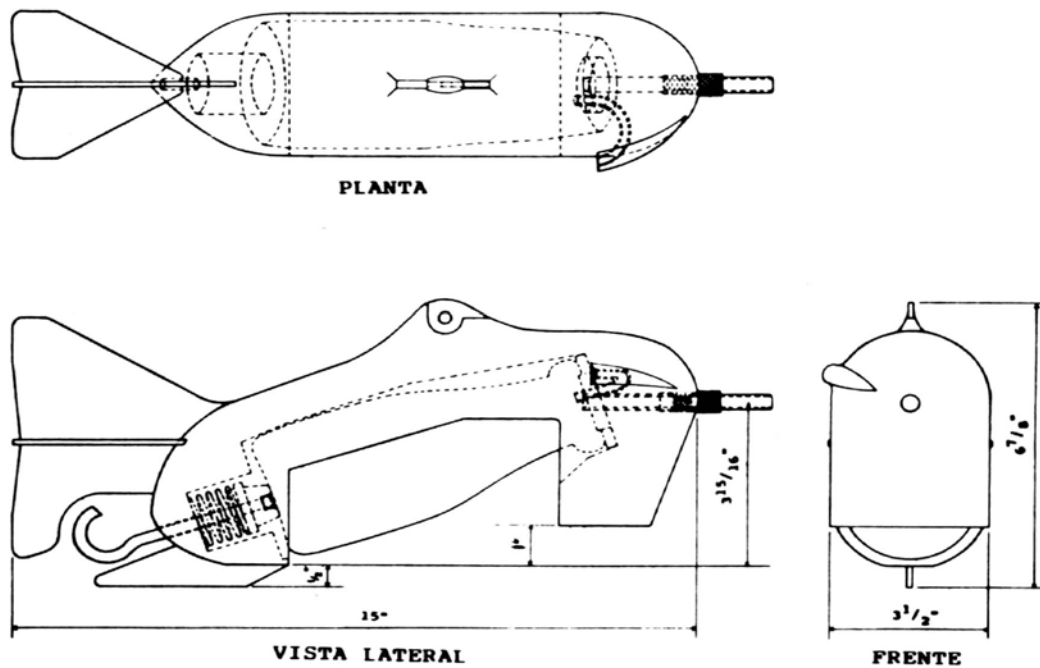


Figura 3.9. Amostrador US-DH-59.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

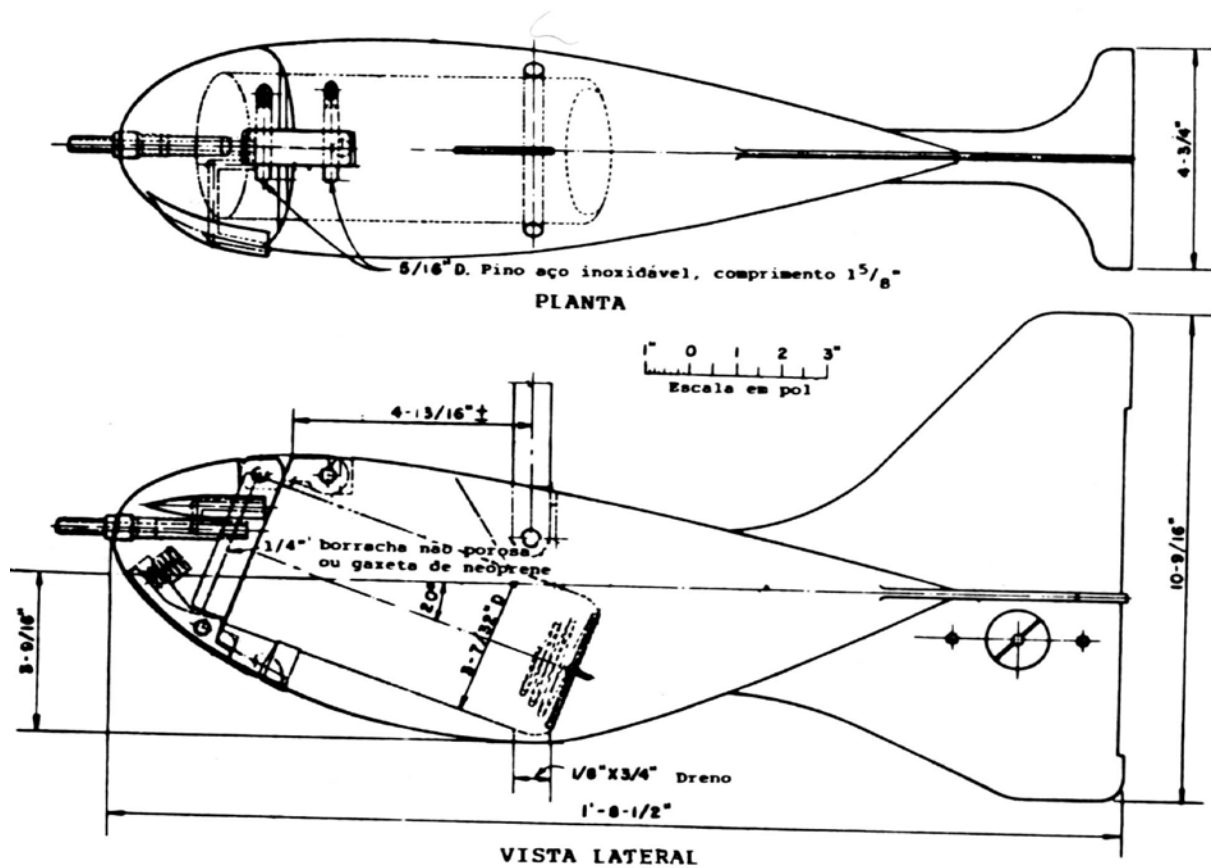


Figura 3.10. Amostrador US-D-43.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-D-49**

É do tipo integrador na vertical e usa garrafa, sendo um melhoramento do D-43. É mais pesado, tendo 27,5kg, sendo, portanto, mais estável em alta velocidade ou em fluxo turbulento. É mais fácil de ser operado, mais robusto e mais barato para fabricação. É fundido em bronze e tem três bicos calibrados (1/8", 3/16", 1/4"). A Figura 3.11 apresenta seu esquema.

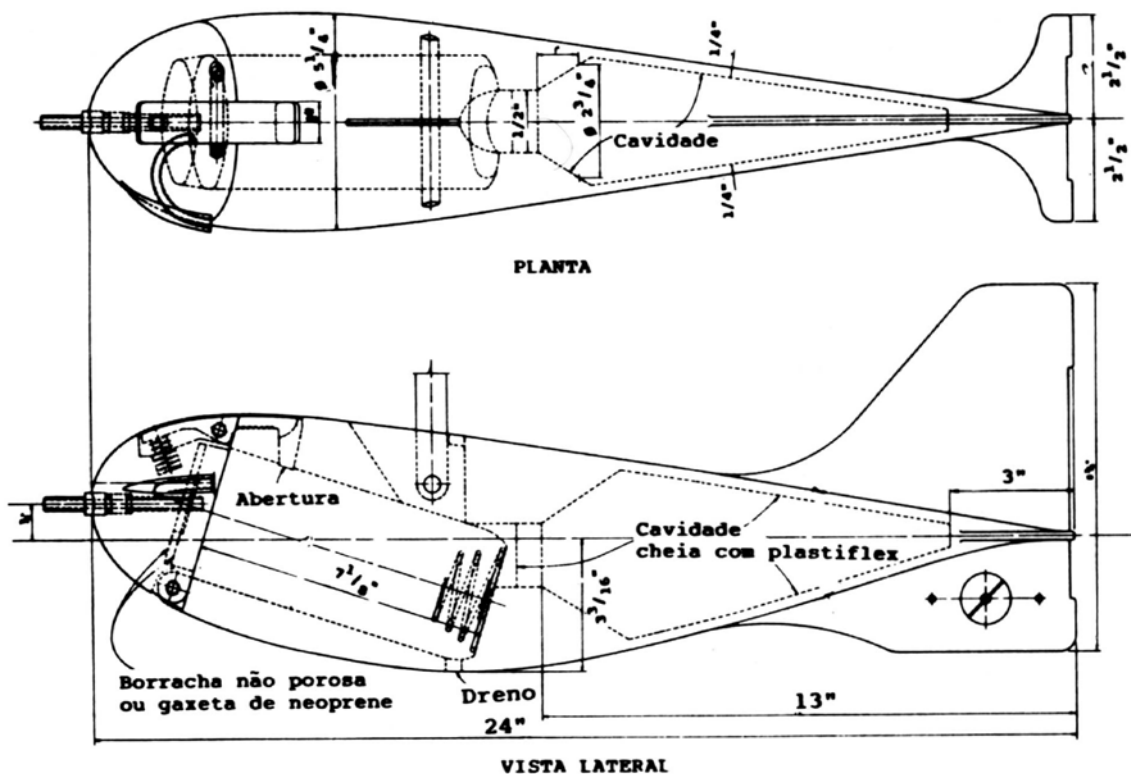


Figura 3.11. Amostrador US-D-49.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-P-46**

É do tipo integrador pontual, usa garrafa, pesa cerca de 50kg, sendo provido de um bico de 3/16". O corpo do amostrador é de forma hidrodinâmica, sendo a carapaça fundida em bronze e tendo uma cavidade para colocação da garrafa. O orifício de entrada da amostra e o exaustor de saída do ar são controlados por uma válvula que pode ser acionada eletricamente, usando energia de bateria de 48 volts para funcionamento do solenóide. A simples compressão de um botão permite abertura do tubo de tomada d'água, como também fechamento pela liberação do botão. Uma câmara equalizadora de pressão pode ser embutida no amostrador. Para profundidades altas, acima de 30m, é necessário usar um dispositivo de regularização de

pressão do ar através da câmara que tem um volume de quase cinco vezes o da garrafa. O amostrador encontra-se esquematizado na Figura 3.12.

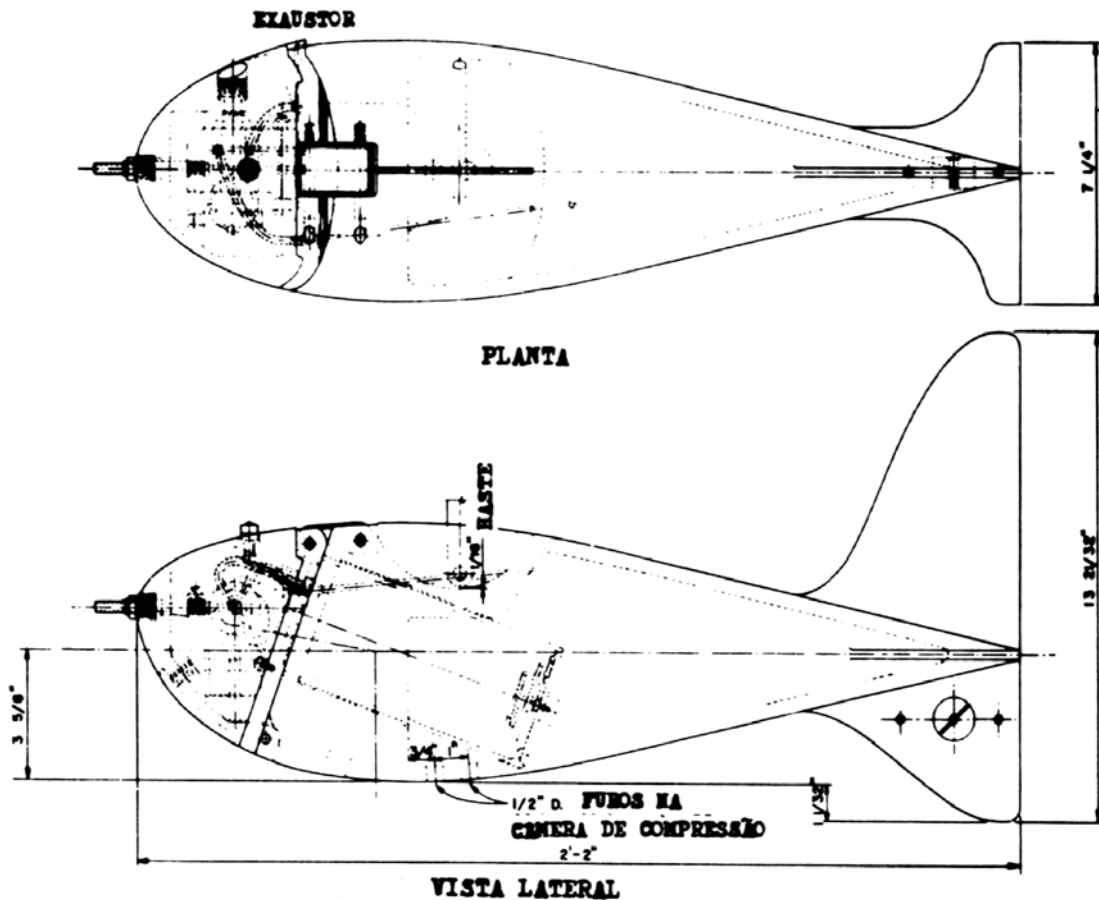


Figura 3.12. Amostrador US-P-46.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostradores US-P-61 e US-P-50**

Similar ao amostrador US-P-46 é, porém, mais simples e mais barato. Pode ser usado tão bem como integrador pontual como integrador na vertical, para grandes profundidades, como 80m. Uma versão do P-61, pesando 100kg, encontra-se também disponível, podendo ser usada nas mesmas profundidades e em condições de maior velocidade da corrente. Seu esquema é apresentado na Figura 3.13.

O amostrador US-P-50 foi desenvolvido para coleta de amostra de sedimento em suspensão em rios muito profundos e de grande velocidade. Pesa quase 150kg, sendo fundido em bronze em formato hidrodinâmico. Por ser de maior peso, é necessário um guindaste para operação.

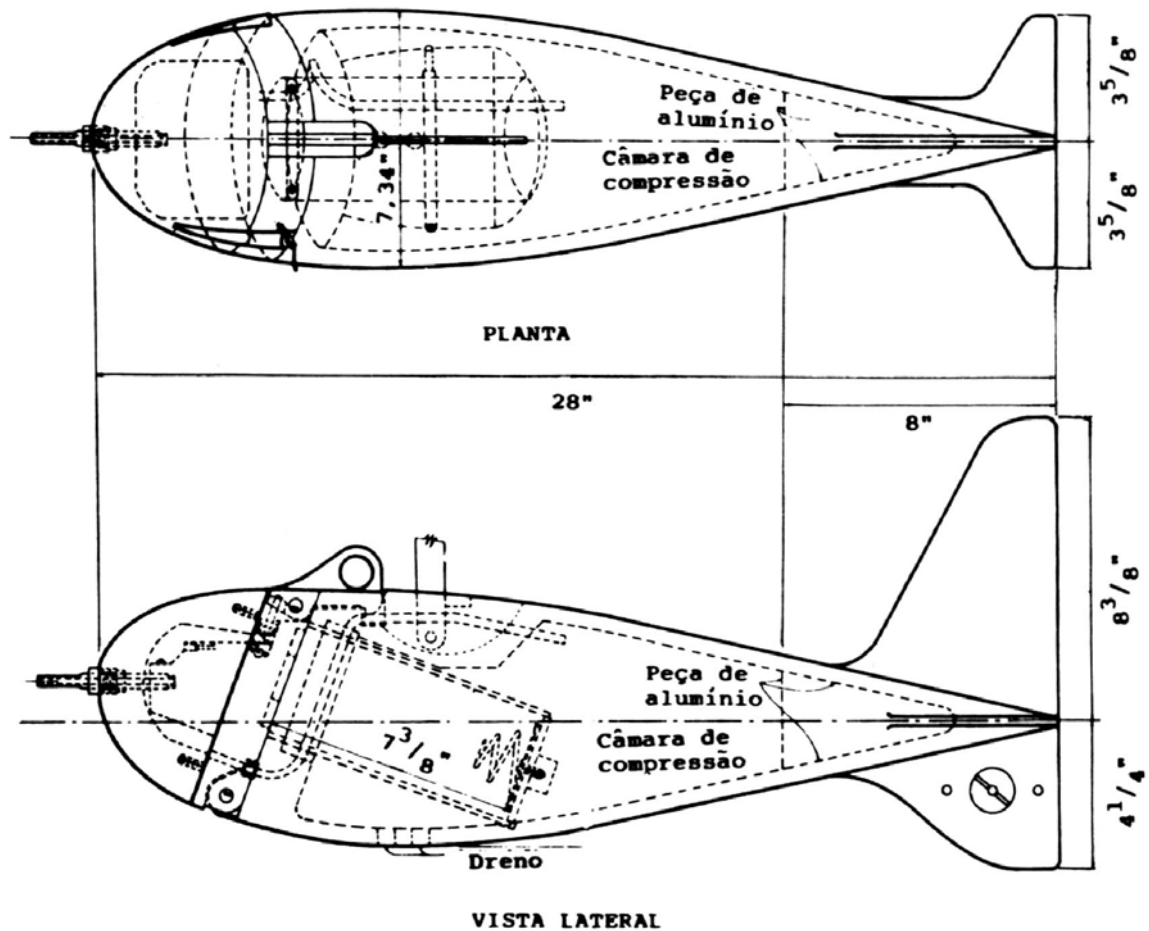


Figura 3.13. Amostrador US-P-61.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-D-77**

É equipado com recipiente rígido de 3 litros. Foi projetado para superar o limite de profundidade e velocidade dos amostradores mais comuns e para aumentar a quantidade de amostra. Usa bico próprio com uma capa protetora, sendo fundido em bronze com forma hidrodinâmica, tendo uma cauda soldada. Pesa 30kg e usa uma garrafa de plástico rígido. Efetua amostragem por integração na vertical, sendo que o ar da garrafa vai sendo expulso por uma abertura na capa do bico. Há um modelo aperfeiçoado do US-D-77 para uso de saca compressível, tendo sido incluído no equipamento um solenóide para abertura de válvula. O sistema opera com uma bateria de 50 volts. O esquema deste amostrador pode ser observado na Figura 3.14.

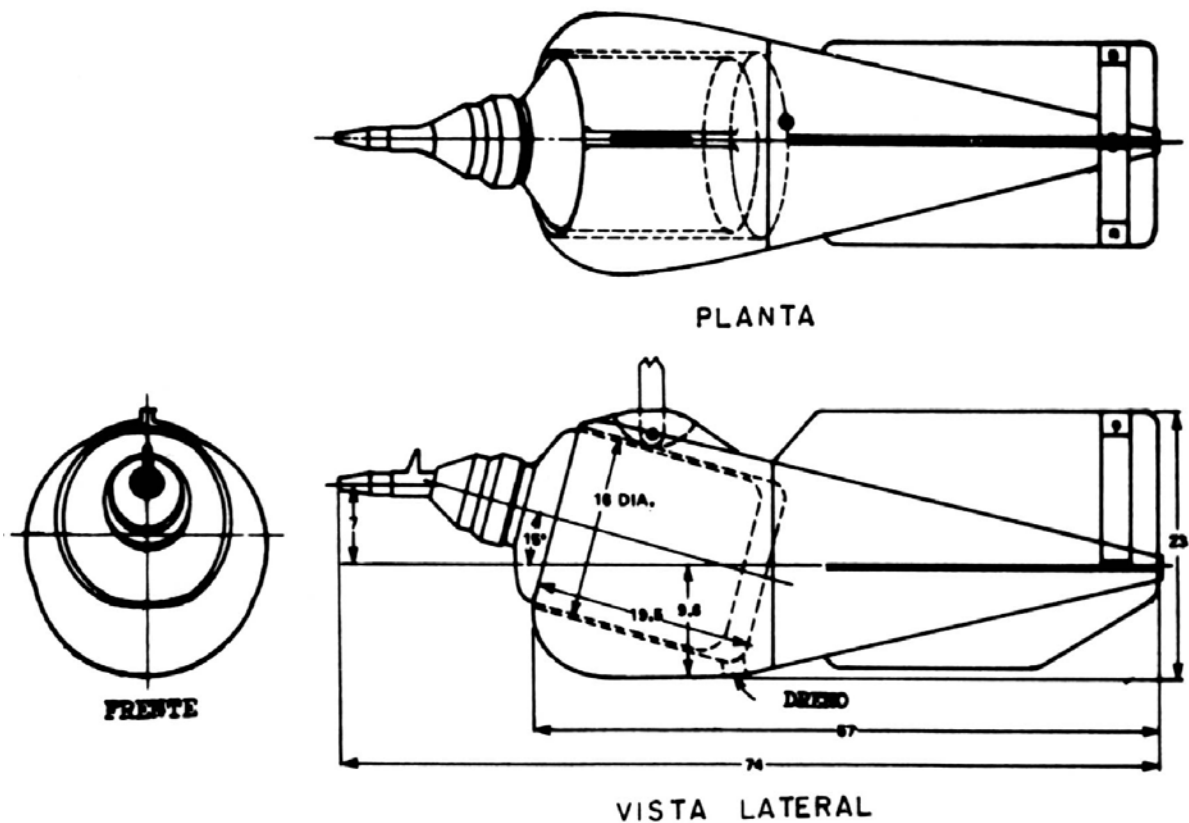


Figura 3.14. Amostrador US-D-77.

Fonte: SZALONA (1982) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador de saca**

O amostrador de saca usa uma saca compressível de plástico com capacidade de 3,8 ou 7,6 litros. A saca, sendo compressível, é colocada completamente comprimida, de tal forma que a pressão da água ao entrar é igual à pressão da água que está em volta, isso porque praticamente não tem ar na saca. Destina-se à obtenção de amostras de sedimento em suspensão pelo processo de integração na vertical, qualquer que seja profundidade. Consiste em um recipiente de alumínio perfurado no fundo, para circulação livre da água, de uma armação de ferro com cabeçote semi-esférico de alumínio, bicos de 1/8", 3/16" e 1/4", de leme hidrodinâmico, hastes de sustentação do instrumento e do lastro e de sacas plásticas. É um equipamento leve, devendo ser usado com lastro adequado às profundidades e velocidades do curso d'água. A montagem do lastro pode ser feita acima ou abaixo do amostrador, podendo ser associada com montagem do molinete. Na Figura 3.15 é apresentado o esquema deste amostrador.

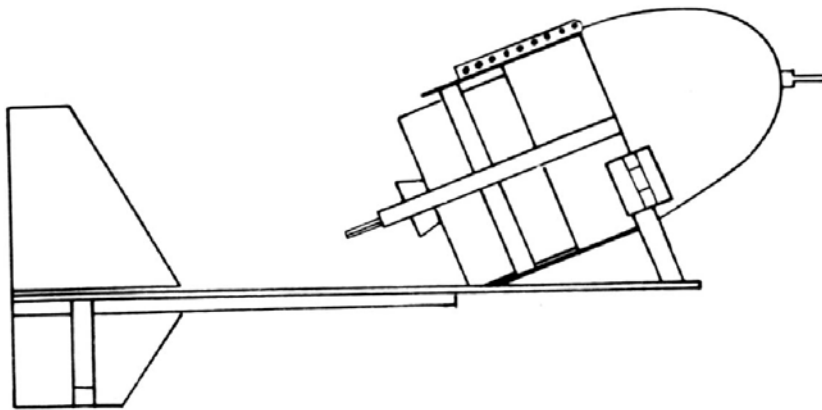


Figura 3.15. Amostrador de saca.

Fonte: CARVALHO (1994)

3.3.2. Sedimento do leito

A carga do leito é composta principalmente de sedimento mais grosso do que aquele que está em suspensão. Na prática, é mais difícil medir a carga de fundo que a carga em suspensão. Embora a descarga sólida de arrasto venha sendo medida em vários países com os mais diversos tipos de equipamentos e metodologias, não há ainda um método ou instrumento adaptável a todas as condições de campo (CARVALHO, 1994).

No Brasil, têm sido efetuadas poucas medições diretas da carga de fundo. O método mais usado é o indireto, por cálculo, usando fórmulas a partir de dados da medição de vazão, parâmetros hidráulicos e dados das análises de material coletado no leito do curso d'água. Normalmente é amostrada uma camada de 2 a 5cm do material que é passível de ser transportado (CARVALHO, 1994).

Os métodos de amostragem podem ser classificados em (RINGE (1978) *apud* CARVALHO, 1994):

- amostragem de material mais fino que pedregulho, menor que 8mm de diâmetro médio;
- amostragem de material no qual 90% ou mais são maiores que areia grossa, isto é, maiores que 8mm de diâmetro médio.

A fim de se obter uma amostra satisfatória, tanto na medição direta quanto na indireta, o amostrador de fundo deve conter o volume de sedimento coletado de tal forma que seja removido sem que haja perda de material, incluindo os sedimentos finos. O amostrador

também deve apresentar facilidade de remoção do sedimento para transferência a outro recipiente, facilitando o transporte ao laboratório. Muitos amostradores não apresentam essas características, fornecendo uma amostra não-representativa (CARVALHO, 1994).

O procedimento mais usual é a amostragem de sedimento fino de material do leito. As amostras são coletadas em posições da seção transversal para garantir a determinação da granulometria do sedimento que está sujeito a movimento e disponível para transporte.

As amostras do sedimento do leito são efetuadas geralmente em posições de igual incremento de largura. No entanto, essas amostras podem ser feitas nas mesmas verticais de amostragem em suspensão, qualquer que seja o método (CARVALHO, 1994).

Normalmente, é necessária uma quantidade menor de verticais de amostragem do que as exigidas para o sedimento em suspensão, permitindo uma boa representatividade estatística. O número de verticais pode, então, ser no mínimo a metade do número de amostras do sedimento em suspensão. Devem ser coletadas em posições alternadas e distribuídas ao longo da seção. O número ótimo de amostras, no entanto, deve ser verificado em função da natureza e heterogeneidade do material e das variáveis em estudo (AGRICULTURE, COMMERCE, DEFENSE, INTERIOR DEPARTMENTS, 1978).

Caso o método de amostragem em suspensão seja o de igual incremento de descarga, a coleta de material do leito também pode ser feita em verticais alternadas, com um número nunca inferior a três subamostras, com uma quantidade mínima de 2kg de material úmido no total, sendo que cada coleta deve conter, aproximadamente, iguais proporções de material (CARVALHO, 1994).

Deve-se ter cuidado para que não sejam efetuadas amostragens de material do leito em locais de águas paradas.

As diversas subamostras devem ter aproximadamente a mesma quantidade de material, numa mesma medição. Devem ser combinadas em laboratório, para se constituírem em uma amostra composta, para permitir uma só análise pelo processo de peneiramento. No campo, cada subamostra deve ser colocada em sacos plásticos, com cuidado para não haver perda dos finos com o escoamento de água (CARVALHO, 1994).

3.3.2.1. Equipamentos de amostragem de sedimentos do leito

Em geral, os equipamentos de medição da descarga sólida têm sido projetados e construídos de tal forma a apresentar uma precisão confiável, livres de inconveniências, compactos, leves, simples, de fácil operação e manutenção e relativamente baratos.

Para a obtenção da descarga sólida de arrasto, deve-se utilizar o tipo de equipamento de acordo com o método de medida. Esta pode ser efetuada de quatro maneiras (CARVALHO, 1994):

- por medição direta, usando amostradores portáteis ou removíveis colocados no leito;
- por medição direta, usando estruturas fixas, poços ou fendas, na seção transversal;
- por medição indireta, pela medida de grandezas diversas e uso de fórmulas;
- por subtração da descarga em suspensão da descarga sólida total medida.

A seguir são descritos os principais equipamentos de medição indireta de descarga sólida de arrasto (CARVALHO, 1994).

- **Amostrador *U. S. Waterways Experimental Station***

Do tipo penetração horizontal, consiste em um cilindro fechado numa extremidade e aberto na outra, com alargamento na boca e borda cortante; o cabo fica preso quase na frente, para que o peso do amostrador facilite a coleta ao ser arrastado no leito. Para profundidades maiores que 2m, é necessário usar cabo, sendo a suspensão feita por duas argolas laterais. A Figura 3.16 apresenta o esquema de operação deste amostrador.

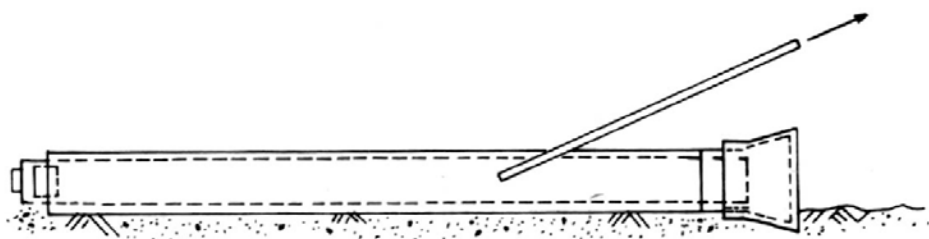


Figura 3.16. Amostrador do *U. S. Waterways Experimental Station* de material do leito.

Fonte: ISO (1977) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador de dragagem holandês**

De penetração horizontal, tem uma boca alargada e na outra extremidade uma peça que pode ser removida com facilidade, podendo conter a amostra sem que as partículas escapem, conforme se observa na Figura 3.17.

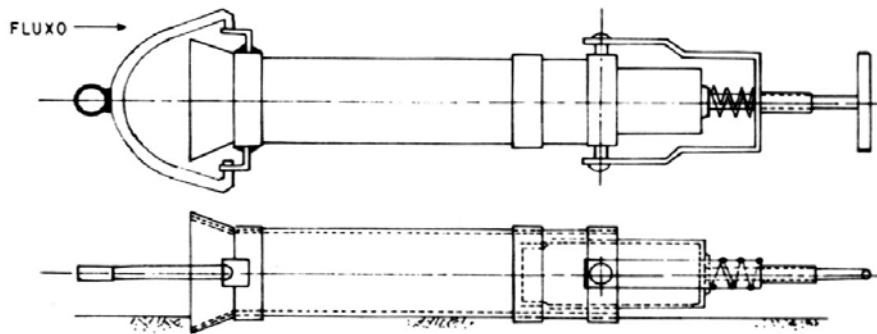


Figura 3.17. Amostrador holandês de material do leito.

Fonte: ISO (1977) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador Rock-Island**

De penetração horizontal, do tipo caçamba de dragagem, consiste em um cilindro fechado numa extremidade e com haste presa no fundo, com liberdade de movimento, conforme apresentado na Figura 3.18. A haste tem lastro cilíndrico, que obriga a caçamba de remoção a ficar na posição horizontal, coletando uma camada de quase 5cm do material do leito. O amostrador é melhor operado manualmente com uma corrente. Pesa cerca de 7kg e tem comprimento de 55cm. Não é adequado para rios profundos e de grandes velocidades. Devido à caçamba permanecer aberta ao coletar a amostra, o sedimento mais fino vai sendo removido pela turbulência, alterando completamente a amostra.

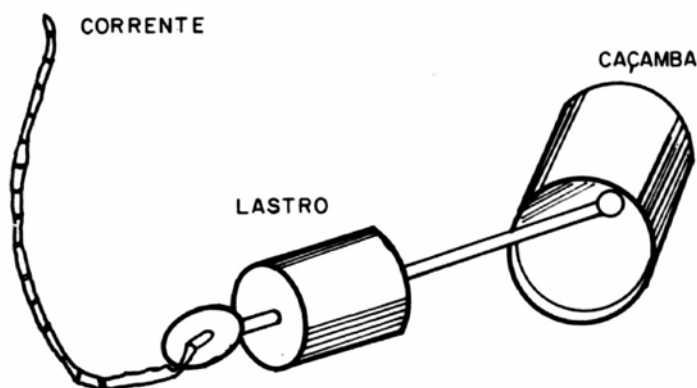


Figura 3.18. Amostrador Rock-Island de material do leito.

Fonte: CARVALHO (1994)

- **Amostrador de concha**

Consiste em uma concha leve, fechada numa extremidade e aberta na outra, biselada, tendo uma haste presa rigidamente no topo da concha. Uma tampa presa com dobradiça deve ser colocada na parte superior. É usado em cursos d'água rasos para coleta de camada superior de material do leito, com 5cm de espessura. É do tipo de penetração horizontal. Seu esquema pode ser observado na Figura 3.19.

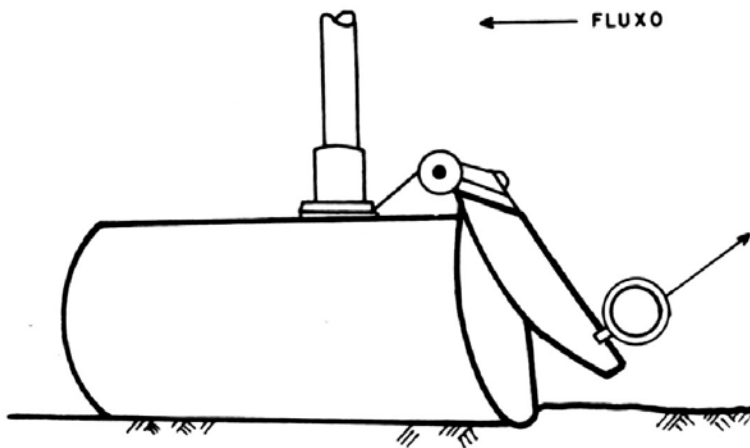


Figura 3.19. Amostrador de concha de material do leito.

Fonte: ISO (1977) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-BMH-53**

É um instrumento tipo pistão manual de penetração vertical, para uso em cursos d'água rasos. O cilindro é pressionado no leito, aprisionando a amostra e obrigando o pistão a se levantar. Uma haste é presa ao pistão para facilitar seu movimento e ajudar na remoção da amostra. Um vácuo parcial se forma abaixo do pistão, ajudando a reter a amostra no cilindro. A Figura 3.20 apresenta o esquema deste amostrador.

- **Amostrador de draga tipo Petersen**

É um amostrador de draga busca-fundo, de penetração vertical, em bronze fundido, com dispositivo de desarme que consiste em alavanca de braço móvel, conforme observa-se na Figura 3.21. A draga desce com as caçambas abertas pela alavanca e, ao tocar o leito do rio, desarma, permitindo a coleta de material. Por ser de fraca pressão, as caçambas perdem parte do sedimento, principalmente os finos, descaracterizando a amostra.

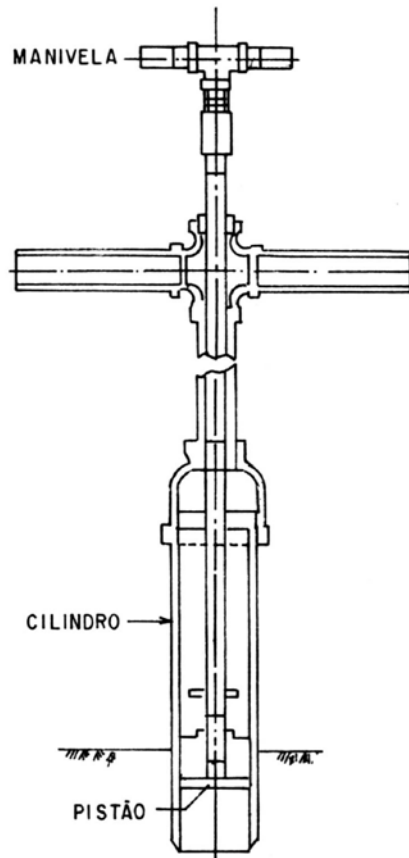


Figura 3.20. Amostrador US-BMH-53 de material do leito.

Fonte: ISO (1977) *apud* CARVALHO (1994)

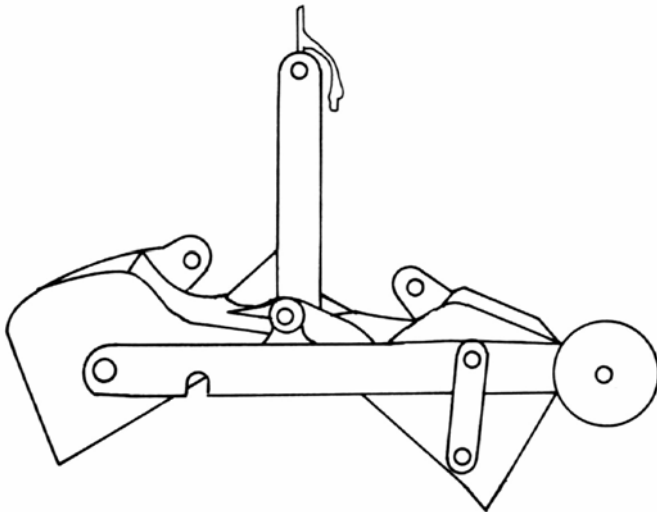


Figura 3.21. Amostrador tipo Petersen de material do leito.

Fonte: CARVALHO (1994)

- **Amostrador de caçamba de raspagem**

Do tipo de penetração vertical, consiste em duas caçambas montadas em hastes, que são presas por cabos. O conjunto desce com as caçambas abertas, que se fecham ao tocar o leito,

coletando material de uma pequena camada. A Figura 3.22 apresenta seu esquema de funcionamento.

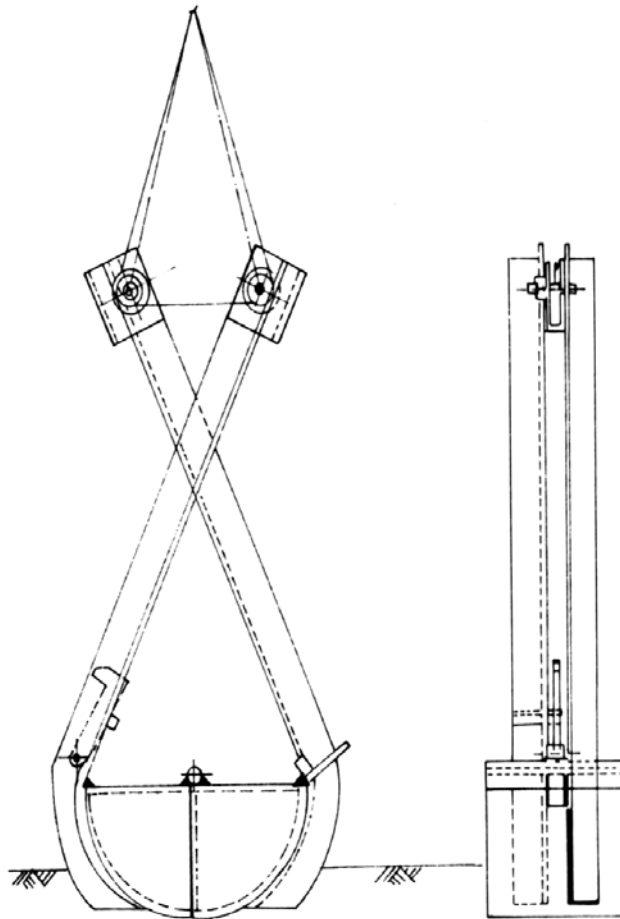


Figura 3.22. Amostrador tipo caçamba de raspagem para coleta de material do leito.

Fonte: ISO (1977) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-BM-54**

Do tipo penetração vertical de escavação, pesa quase 50kg, tendo forma hidrodinâmica. É adequado para amostras do leito de rios ou de reservatórios em qualquer profundidade. Consiste em uma caçamba montada no interior do amostrador, podendo ser armado por tensão de uma mola que desarma quando toca o leito; a caçamba coleta uma amostra de 5cm da camada do leito e de tal forma que não há perda de sedimentos quando é levantada da superfície. Seu esquema de montagem pode ser visto na Figura 3.23.

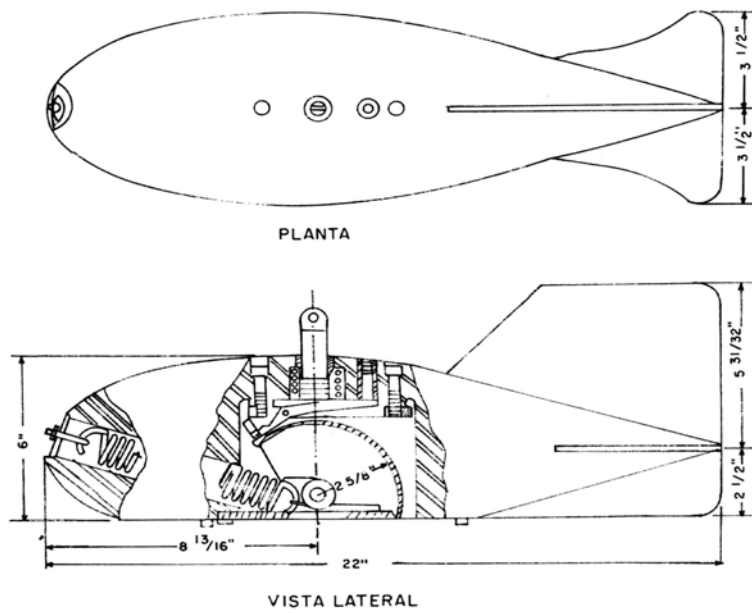


Figura 3.23. Amostrador US-BMH-54 de material do leito.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador US-BMH-60**

Similar ao BM-54, mas de menor peso, para permitir operação mais fácil. É fabricado em três tamanhos, pesando 13, 15 e 18kg, aproximadamente. Tem comprimento de 54cm, conforme indica a Figura 3.24. Também não há perdas de finos nesse tipo de coletor, permitindo uma amostra adequada. Pode ser usado em rios com profundidades até 3m e velocidades de 1m/s, operando com guincho.

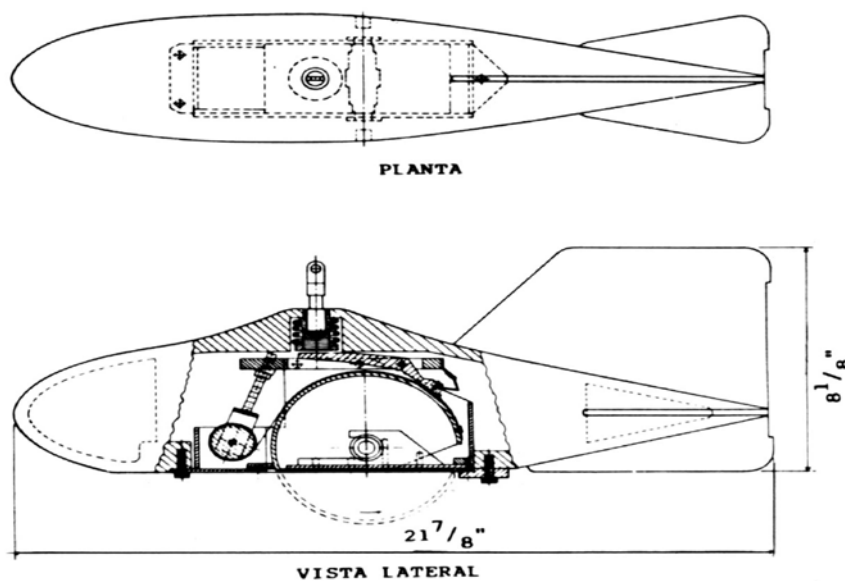


Figura 3.24. Amostrador US-BMH-60 de material do leito.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

- **Amostrador Mundorf**

Coleta sedimento da superfície do leito. Consiste em uma pequena caixa circular que fica presa ao fundo de um lastro, ou uma haste, conforme indicado na Figura 3.25. Na parte inferior da caixa é colocada uma substância gelatinosa para que o sedimento fique aderido.

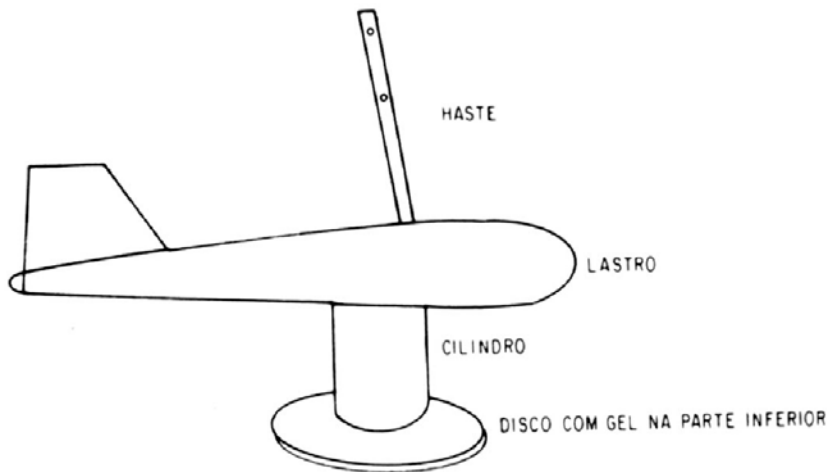


Figura 3.25. Amostrador Mundorf de material do leito.

Fonte: SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963) *apud* CARVALHO (1994)

3.4. Métodos de análise do material em suspensão e do leito

Os métodos de análise, para sedimento em suspensão, são escolhidos de acordo com as análises a serem efetuadas. Caso seja somente análise de concentração, optar-se-á pelo método de evaporação ou o de filtragem. Se for necessário também efetuar análise granulométrica, usar-se-á o método do tubo de retirada pelo fundo, cujo resultado final fornece a concentração. A escolha do método é tanto em função da análise a ser feita, da quantidade de sedimento presente na amostra, quanto da qualidade do sedimento. Assim, prefere-se usar o método da filtragem em amostras de baixas concentrações. O método de evaporação é preferido em altas concentrações ou quando o teor de argila na amostra for grande, pois nesse caso haveria dificuldade na filtragem (CARVALHO, 1994).

A análise granulométrica pelo tubo de retirada pelo fundo é usada em amostras de menor concentração, enquanto o método de pipetagem ou do densímetro, em amostras com maior concentração, como apresenta a Tabela 3.1 (UNIVERSITY OF IOWA (1943) *apud* CARVALHO, 1994).

Tabela 3.1. Amplitude de vários métodos de análises granulométricas.

Método	Limite Aproximado do diâmetro da partícula (mm)	Limite aproximado na concentração (ppm)
Tubo de retirada pelo fundo	0,001 a 1,0	300 a 10.000
Decantação	0,001 a 0,0625	1.250 a 19.000
Pipetagem	0,001 a 0,0625	3.000 a 10.000
Hidrômetro (densímetro)	0,001 a 0,0625	60.000 a 116.000
Siltômetro (TAV)	0,0625 a 2,0	125 a 25.000
Peneiras	0,065 a pedregulho	125, sem limite

Fonte: UNIVERSITY OF IOWA (1943) *apud* CARVALHO (1994)

As análises mais usuais são as de concentração de sedimentos e de granulometria. Os métodos usados para essas análises estão indicados no esquema abaixo:

Amostras de sedimentos em suspensão	Análise de concentração total	Filtração Evaporação Tubo de retirada pelo fundo
	Análise Granulométrica	Tubo de retirada pelo fundo Pipetagem Densímetro
Amostras de material do fundo	Análise granulométrica	Peneiramento Densímetro Pipetagem Tubo de acumulação visual Tubo de retirada pelo fundo

A seguir são descritos os principais métodos de análise, de acordo com as recomendações do BRASIL (1970).

3.4.1. Evaporação e pesagem

Esse método, apesar de apresentar relativa simplicidade de execução e requerer reduzido equipamento auxiliar, deverá ser evitado quando o teor de argila na amostra for grande e exigir, por conseguinte, demasiado tempo para a deposição, ou dosagens excessivas de floculantes auxiliares.

Recebidas as amostras do campo, o primeiro cuidado do laboratorista é determinar o peso da amostra contida em cada garrafa, observando-se que o estudo sempre é feito para cada par de garrafas coletadas.

A obtenção desse peso líquido se faz por simples diferença de pesagens das garrafas, realizadas antes e após esvaziá-las, estando elas devidamente lavadas. Deve-se deduzir, do

peso assim determinado, aquele correspondente ao sulfato de cobre, se tiver sido adicionado em campo.

Depois de 24 a 48 horas de repouso, 50cm³ da solução existente em cada uma das garrafas, e correspondentes à parte superior das respectivas amostras, são colocadas em um béquer.

Essa solução, com 100cm³, deve constar de água, sais dissolvidos e sulfato de cobre. Sua transferência das garrafas para o béquer é feita com uso de pipeta volumétrica, operada com precaução, para se evitar dispersão do sedimento assentado no fundo das garrafas. A dispersão destina-se à determinação da correção, devida à presença de sais dissolvidos no resíduo da evaporação, sendo que o volume destes deverá ser imediatamente anotado.

Os dois béqueres, preenchidos um deles com solução de sais dissolvidos e outro com a mistura de sedimento, sólidos dissolvidos e água, são em seguida levados a uma estufa com temperatura superior a 100°C, para a evaporação total da água. Após essa operação, os frascos são resfriados, em um dessecador a vácuo, até atingirem a temperatura de 1°C acima da temperatura do ambiente. Subseqüentemente, é feita a pesagem dos frascos em balança analítica, com aproximação de decimiligrama, observando-se que a temperatura deles deverá se manter dentro da aproximação anteriormente indicada. Por simples dedução, entre o peso determinado e a tara de cada frasco, obtém-se o peso do material sólido amostrado.

Com dados do primeiro frasco, onde foram recolhidos 100cm³ de amostras, chega-se, por simples cálculo, à determinação do peso dos sais dissolvidos, que é levado como correção da amostra evaporada do segundo frasco, para a obtenção do peso de sedimentos. A concentração total, em mg/L, é obtida através de cálculo, dividindo-se o peso corrigido do sedimento em mg pelo equivalente em litros do peso da amostra.

3.4.2. Método de filtração

Esse tipo de análise, para a determinação da concentração total, é recomendado pela rapidez de operação e simplicidade de equipamento apresentado relativa a precisão.

Não exige, na sua operação, correção para sais dissolvidos, porque estes passam pelo filtro, deixando somente o material sedimentado, embora algum sal fique retido com a umidade.

Uma parte da execução deste método de análise é comum à análise por evaporação e pesagem, já descrita.

Após a pesagem da amostra, o material é filtrado em cadinhos filtrantes denominados “cadinhos de Gooch”, próprios para este processo, conforme apresenta a Figura 3.26. Esses recipientes têm capacidade máxima de 25cm³, o que obriga o analista a executar uma maior redução de amostra do que a habitualmente feita no processo de evaporação.

A amostra é transferida para o cadinho de Gooch, onde será processada a filtração. Essa operação deverá ser acelerada com o uso de bomba de vácuo, adaptada ao recipiente coletor do material filtrado, sobre o qual foi montado o cadinho de Gooch.

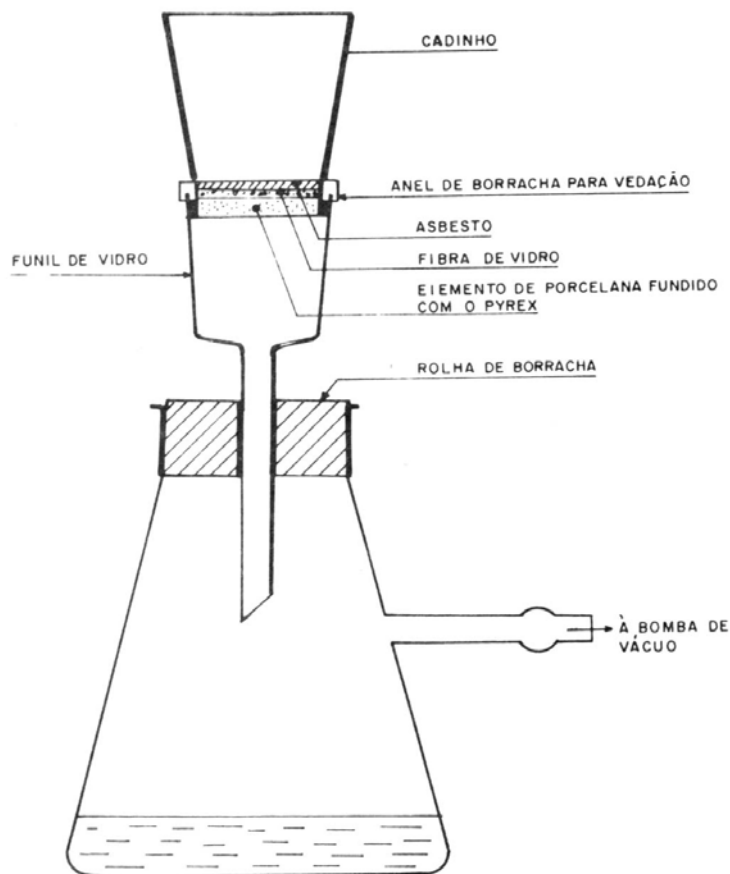


Figura 3.26. Cadinho de Gooch.

Fonte: BRASIL (1970)

O resíduo da filtração, detido no cadinho, é secado e levado a estufa, onde permanece cerca de 1 hora, em temperatura ligeiramente acima de 100°C.

O material é transferido da estufa para o dessecador a vácuo, seguindo-se a rotina de pesagem especificada no processo de evaporação. A partir dessa pesagem, cálculos comuns a ambos os processos levam à determinação do peso do material amostrado.

3.4.3. Método do tubo de retirada pelo fundo

Esse método, comum às análises do material de suspensão e de fundo, objetiva a determinação da granulometria e da concentração do material contido na amostra.

Essa determinação é feita a partir da precipitação do material coletado em aparelhagem especial. Uma série de três a cinco tubos de vidro, de extremidades afuniladas, de diâmetros internos conhecidos e de pouco mais de um metro de comprimento, constitui a aparelhagem onde são efetuadas as citadas precipitações.

Para que se possa abri-lo e obturá-lo, é adaptado à sua parte inferior um tubo de borracha com grampo de aço, que possibilita a operação. Tendo seu próprio suporte, o tubo é colocado em posição vertical, para realização do ensaio, conforme apresenta a Figura 3.27.

Uma série de frascos tipo béquer deverá estar à mão, para a coleta das sucessivas retiradas das amostras.

Para sua exequibilidade, é fundamental que a amostra possua as características a seguir discriminadas, algumas delas, devidas à imposição do processo de análise, baseado na teoria de Oden, apoiado na lei de Stokes.

- A quantidade do material sólido deverá estar entre os limites de 0,15g e 5g;
- O diâmetro das partículas deve estar compreendido entre 0,001mm e 1mm;
- Suas dimensões não devem variar senão em quantidades infinitesimais;
- A temperatura e a viscosidade do sistema deverão permanecer constantes durante a realização do ensaio;
- As partículas em processo de análise não deverão se influenciar reciprocamente durante a queda, na coluna de sedimentação;
- As partículas deverão estar no meio líquido, antes da precipitação, em completa dispersão.

A análise pelo processo do tubo de retirada pelo fundo tem seus primeiros passos indicados com os das outras anteriormente descritas.

Após a redução da amostra e transferência para o tubo, arrolha-se devidamente este, para perfeita dispersão do sedimento, basculando repetidamente, durante cinco minutos. Após esta operação, ele será colocado em seu suporte na posição vertical sendo, então, retirada a rolha que o vedava. Começam-se, então, as retiradas da amostra, em diferentes intervalos de tempo, determinados em função do diâmetro das partículas que se precipitam, abrindo-se simplesmente o grampo metálico já citado.

Sendo as amostras de volumes iguais, cada uma das retiradas corresponderá a 10cm da graduação do tubo, o que exige certa prática do operador. A essa operação sucede-se a evaporação das dez porções colhidas, feitas em estufa, por um período de 24 horas. Em seguida, são levadas à temperatura ambiente em dessecador a vácuo. Estão, assim, prontas para a pesagem, cujo procedimento é análogo ao dos dois outros processos.

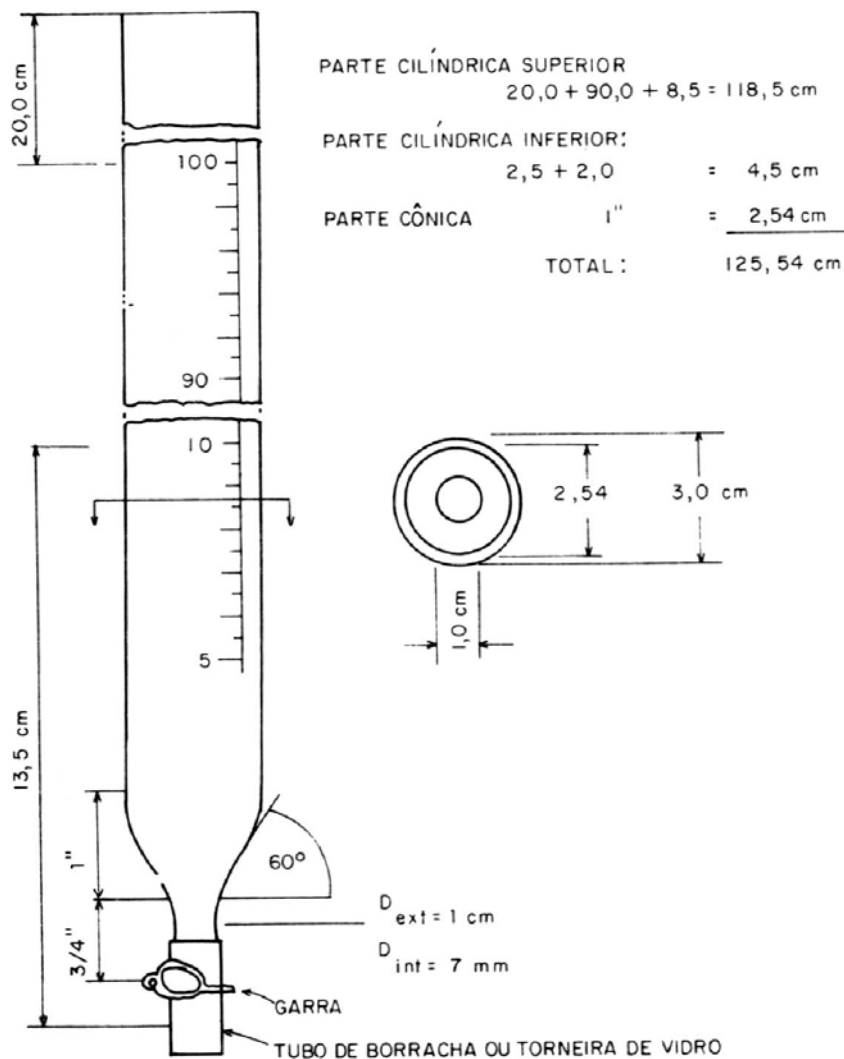


Figura 3.27. Tubo de retirada pelo fundo.

Fonte: CARVALHO (1994)

3.4.4. Método de análise granulométrica pelo densímetro

Esse método objetiva somente a determinação dos diâmetros dos grãos do material sólido em suspensão, desde que eles estejam contidos em limites inferiores a 2,362mm (peneira nº 8) e que pelo menos 5% do material amostrado passem pela peneira nº 200.

O material composto de partículas mais grossas não é analisável com a precisão devida pelo uso do densímetro, já que sua precipitação se processa com relativa rapidez, não se mantendo, portanto, em suspensão durante o tempo de análise.

O emprego do método de análise com densímetro, além de exigir pequena aparelhagem, é de custo reduzido e de simples operação.

Usando-se um separador de amostra, retira-se dela uma certa quantidade, dependendo da sua constituição.

Assim, para material arenoso e silteoso, essa quantidade deverá girar em torno de 60g. Para material constituído de argila e siltes argilosos, a quantidade separada deverá ser de 40g.

Após essa fase, a amostra é levada durante 1 minuto ao misturador mecânico, tendo-se, entretanto, o cuidado de adicionar, previamente, mais 500cm³ de água destilada. O produto assim misturado é levado à proveta graduada de 1.000cm³, que é completada até a graduação 1.000 com mais água destilada.

Durante outro minuto, o material é novamente agitado, por basculação sucessiva ou usando-se uma haste misturadora. Desta forma obtém-se uma perfeita dispersão das partículas na massa líquida.

Emprega-se, em seguida, um densímetro de haste até a graduação 1.000 com mais água destilada. Durante outro minuto, o material é novamente agitado, por basculação sucessiva ou usando-se uma haste misturadora. Emprega-se, em seguida, um densímetro de haste longa, conforme apresentado na Figura 3.28, fazendo-se leituras sucessivas e com intervalos de 0,5, 1, 4, 8, 30, 60, 180 e 1.440 minutos. À medida que as partículas vão se precipitando, a densidade da mistura vai diminuindo. Assim, quanto maiores forem os diâmetros das partículas, mais rapidamente se dá a precipitação e a subsequente diminuição de densidade da mistura.

A partir dos dados advindos das leituras executadas no densímetro, processa-se a determinação granulométrica da amostra em exame. Esse processamento é efetuado com auxílio do ábaco para a resolução da fórmula de Stokes, adaptado para o densímetro em uso.

3.4.5. Análise granulométrica por pipetagem

Essa análise exige correção para sais dissolvidos, visto que nela utiliza-se o processo de evaporação para a determinação das concentrações ou dos pesos do material sólido contido em cada retirada feita por pipetagem.

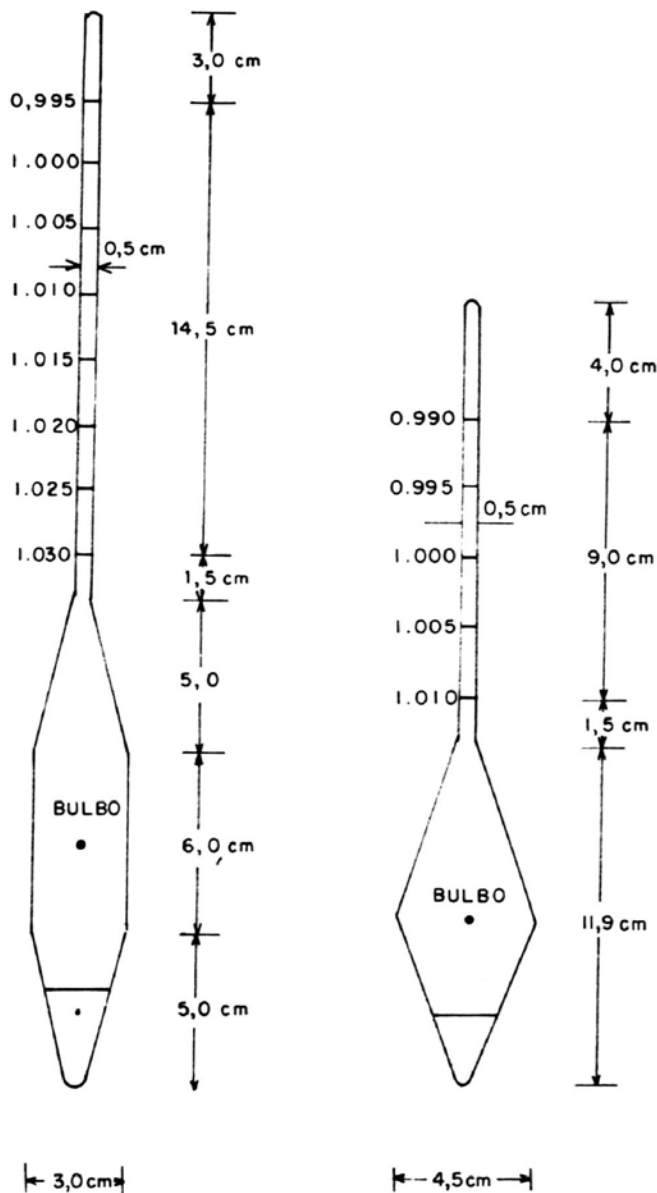


Figura 3.28. Densímetros para uso em análise granulométrica.

Fonte: CARVALHO (1994)

A mistura é agitada em proveta por um minuto com haste própria e, logo após, dá-se partida no cronômetro, iniciando-se a contagem do tempo pré-estabelecido de acordo com as características da amostra, em correspondência com a temperatura da mistura e a profundidade da pipetagem. O enchimento da pipeta, feito por sucção, deve ser efetuado no prazo máximo de 8 a 13 segundos após o término do tempo. Em seguida, as pipetas são descarregadas em frascos béquer e lavadas com água destilada que se acrescenta ao mesmo béquer. Os frascos são colocados em estufa a pouco mais de 100°C para evaporação e, em seguida, são transferidos para o dessecador a vácuo e pesados em balança analítica, conforme técnica descrita anteriormente.

Após correção dos sais dissolvidos, multiplica-se este peso pelo fator de volume que é comum a todos os frascos e calcula-se, fazendo a relação entre o volume total da amostra e o volume de pipetagem. Obtém-se, assim, o peso de sedimento em suspensão, mais fino que o diâmetro correspondente ao tempo e à profundidade de pipetagem empregados. Esse peso é expresso, em seguida, percentualmente em relação ao peso total do sedimento da amostra, indicando assim, para cada diâmetro, a porcentagem do mais fino. Faz-se, em seguida, o gráfico da curva granulométrica, onde as ordenadas são as porcentagens do material mais fino que o do diâmetro correspondente e as abscissas, os diâmetros nominais.

3.4.6. Método do peneiramento

Os métodos de peneiramento e do tubo de acumulação visual são específicos da areia e, como tais, quase sempre aplicáveis isoladamente ao estudo do material de fundo.

Esse método utiliza uma série de peneiras-padrão agitadas mecanicamente e por tempo determinado em aparelhos denominados “RO-TAP”. Para execução da análise granulométrica, tomam-se, aproximadamente, 100g de material seco, ou conforme o tamanho da peneira, adicionam-se 5cm³ de agente defloculante, levando-se essa mistura diversas vezes ao misturador mecânico. Lava-se o material na peneira n.º 230 (0,065mm), coloca-se outra quantidade de agente defloculante e repete-se a operação até que o material fique visivelmente limpo. Em seguida, coloca-se esse material num prato de evaporação, levando-o à estufa para secagem à temperatura de 105°C. Após a secagem, procede-se ao peneiramento mecânico do “RO-TAP” durante 15 minutos, numa série de peneiras n.ºs 5, 10, 18, 35, 60, 80, 120, 230, correspondendo às aberturas de malhas, em milímetros, de 4,0, 2,0, 1,0, 0,5, 0,25, 0,177, 0,125 e 0,062. O peso do material retido na peneira n.º 230 é subtraído dos 100g iniciais de

material seco, a fim de se obter o peso da amostra seca que passa nesta peneira. Faz-se, em seguida, a curva granulométrica, tendo como ordenadas as porcentagens de sedimentos mais finos que passam, e como abscissas, os diâmetros das peneiras padronizadas.

3.4.7. Método do tubo de acumulação visual

Esse método é aplicável à análise granulométrica de amostras de material de fundo ou de sedimento em suspensão, constituída de partículas de granulometria da areia, desde a mais fina até a de diâmetro igual a 2mm.

O analisador consta essencialmente de um tubo de vidro portador da coluna de água, no qual se precipitam as partículas sólidas da amostra colocada inicialmente no seu topo. Dispõe ainda de uma válvula de comando elétrico, uma vez aberta, dá início a precipitação do material através da coluna líquida. Essa partida é sincronizada ao movimento de um tambor giratório, no qual se acha fixado um papel de gráfico. A chegada das partículas em queda ao fundo do tubo é acompanhada pelo observador através de uma luneta, á qual de acha solidário um estilete que risca o papel do tambor. Comandando essa luneta, o operador acompanha, com um movimento vertical, a acumulação das partículas no fundo do tubo. O registro gráfico obtido nesse aparelho relaciona a velocidade de queda das partículas que sucessivamente se acumulam no fundo do tubo, com os diâmetros correspondentes, conforme estabelece a lei de Stokes.

3.5. Medição da descarga líquida

A medição de descarga líquida segue recomendações estabelecidas pelas normas técnicas do DNAEE (BRASIL, 1977), atual ANEEL, utilizando o método da meia seção.

A escolha da seção de medição é determinada pela sua linearidade e regularidade, buscando estabelecê-la no último terço do trecho reto do rio, garantindo, desta forma, que a mudança de direção das linhas de fluxo, provocada pela curva, não interfira na medição.

O método dos molinetes consiste em mergulhar um pequeno rotor dentro do fluxo e determinar a velocidade média do fluído neste ponto, contabilizando o número de voltas dentro de um determinado intervalo de tempo. Devido à versatilidade e precisão, a medida de vazão através de molinetes é muito utilizada.

Como o molinete tem por princípio de funcionamento uma relação estabelecida entre a velocidade do escoamento local e a velocidade de rotação de sua hélice, o mesmo apresenta a equação do tipo mostrada em (3.1).

$$v = a + b \cdot n \quad (3.2)$$

Onde a velocidade, “v”, é dada em (m/s), a rotação da hélice, “n”, em (r.p.s.). As constantes a e b são obtidas através da calibração do molinete. Um molinete bem calibrado, em laboratório especializado, pode atingir um erro máximo de $\pm 1\%$, conforme mostrado na equação (3.2).

As medições realizadas, determinando-se as velocidades em múltiplos pontos, utilizaram a Tabela 3.2, para a definição da quantidade de verticais na seção escolhida. A distribuição de pontos de medidas, se possível, deverá ser feita em linhas verticais distanciadas igualmente, em relação à referência. As distâncias das profundidades dos pontos, também deverão ser iguais. A Figura 3.29 ilustra a definição da referência em uma das margens e a distribuição dos pontos em uma seção de área molhada de um rio.

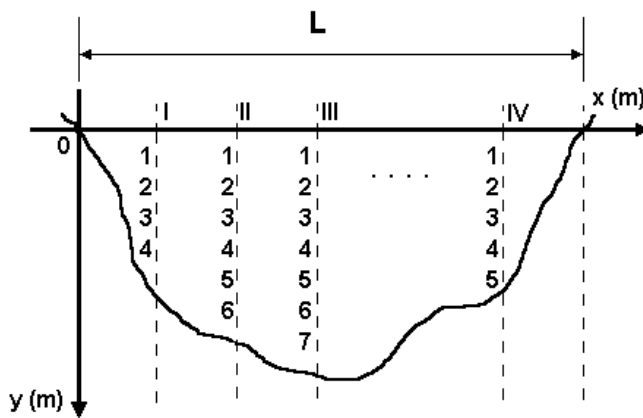


Figura 3.29. Distribuição dos pontos de medidas.

Fonte: BRASIL, 1977

Tabela 3.2. Distância recomendada entre verticais.

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
≤ 3,00	0,30
3,00 – 6,00	0,50
6,00 – 15,00	1,00
15,00 – 30,00	2,00
30,00 – 50,00	3,00
50,00 – 80,00	4,00
80,00 – 150,00	6,00
150,00 – 250,00	8,00
≥ 250,00	12,00

Fonte: BRASIL, 1977.

A quantidade de pontos medidos em cada vertical é dependente da profundidade, conforme apresenta a Tabela 3.3. O cálculo da velocidade média na vertical também é apresentado neste quadro.

O cálculo da vazão na seção é feito segundo a equação (3.3) abaixo descrita.

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{v}_i}{n} \cdot A \quad (3.3)$$

Onde Q é a descarga líquida na seção, dada em m^3/s e A é a área molhada, dada em m^2 .

Tabela 3.3. Cálculo da velocidade média na vertical (método detalhado).

Número de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade “p”	Cálculo da velocidade média, na vertical (m/s)	Profundidades (m)
1	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6}$	0,15 a 0,60
2	0,2p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2$	0,60 a 1,20
3	0,2p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 4$	1,20 a 2,00
4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 6$	2,00 a 4,00
6	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F	$\bar{v} = [v_s + v_f + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8})] / 10$	acima de 4,00

S: superfície; F: fundo

Fonte: BRASIL, 1977

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Locais de amostragem

Foram realizadas campanhas de coleta de dados nos seguintes rios: Paraguai, Aquidauana, Miranda, Negro, Cuiabá, Correntes, São Lourenço, Itiquira, Piquiri, Coxim, Taquari, Canal do Tamengo, Paraguai-Mirim e Apa.

Nestes rios foram medidas as descargas líquidas e sólidas, tanto na região de planalto quanto na planície (Pantanal), buscando-se avaliar as alterações no comportamento hidrossedimentológico na transição de um regime ao outro.

O mapa da região de estudo com a localização dos pontos de coleta é apresentado na Figura 4.1, visitados durante campanhas de medição previamente planejadas. Este planejamento deu-se buscando determinar a seqüência de visita aos pontos mais viável econômica e tecnicamente, estipulando trajetos denominados, neste trabalho, rotas.

4.2. Medição da descarga líquida

Foi utilizado o molinete fluviométrico marca OTT – 15.973 (Figura 4.2), acoplado a um contador de pulsos elétricos com cálculo imediato da velocidade, programado para medir num período de 40 segundos. As medições foram executadas com o auxílio de guincho e lastro, para os casos em que se utilizou barco, e haste com marcações em centímetros, para medições a vau.



Figura 4.2. Molinete fluviométrico.

Bacia do Alto Paraguai Mapa de Localização dos Pontos de Amostragem

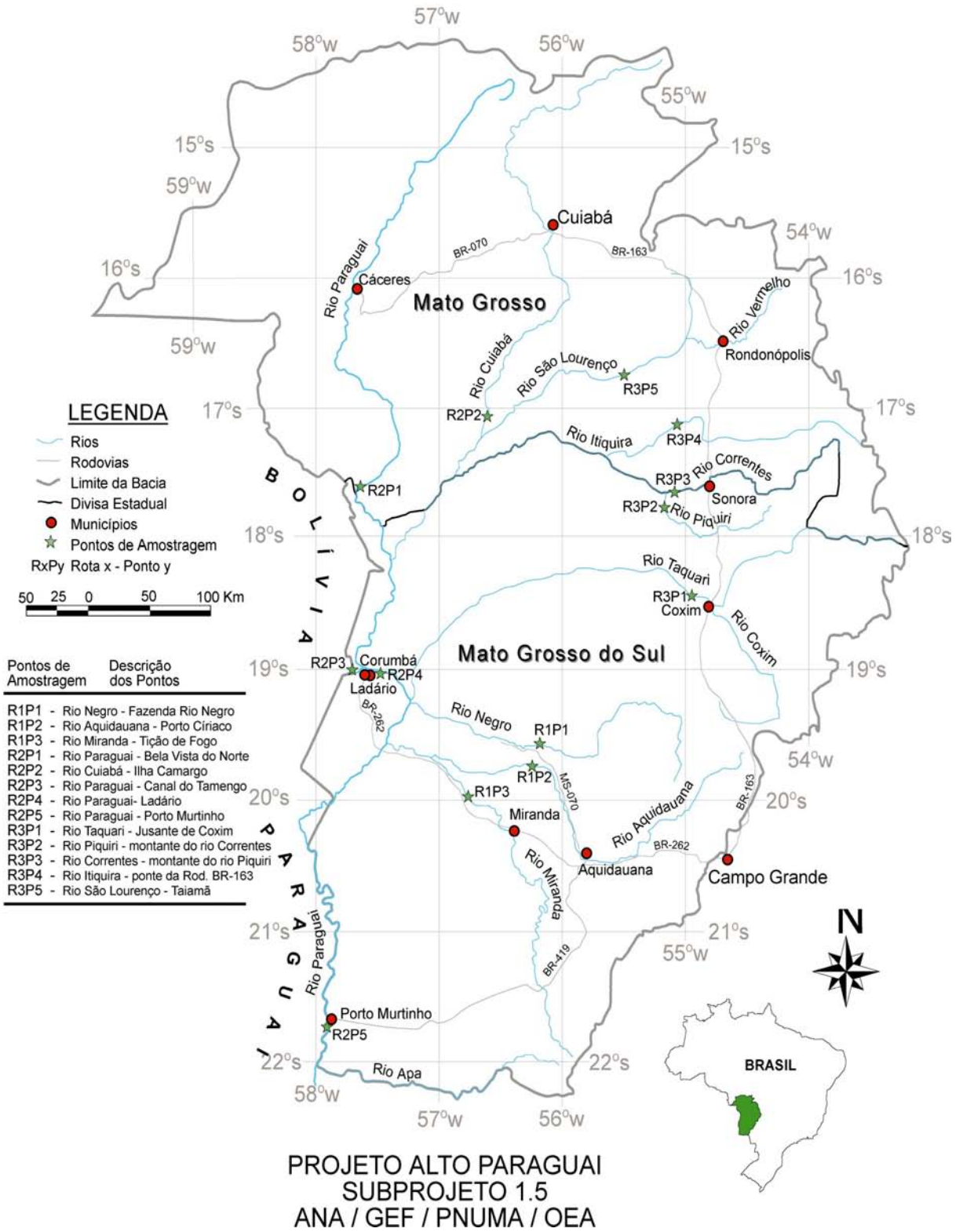


Figura 4.1. Localização dos pontos de coleta de amostras.

Para a determinação da descarga líquida foi adotado o método da meia seção. Uma planilha eletrônica foi utilizado em campo, para maior velocidade na execução dos cálculos pertinentes.

4.3. Medição da descarga sólida

A amostragem de sedimento em suspensão e de sedimento do leito foi realizada de acordo com as técnicas descritas em normas da OMM (WMO, 1981), do DNAEE, da CPRM e ELETROBRÁS e da ANEEL, sendo realizadas após a medição da descarga líquida que é necessária à metodologia de amostragem e também nos cálculos da descarga sólida.

Os amostradores disponíveis foram o US-DH-48 e o de saca (Figura 4.3), para coleta de sedimentos em suspensão, e o US-BMH-54 e amostrador de caçamba de arrasto, para amostragem de sedimentos do leito. Nos casos onde foi impossível coletar amostras de sedimentos em suspensão utilizando o amostrador de saca (condições de risco ou velocidade da correnteza muito baixa), foi utilizado um amostrador de água (Figura 4.4).



Figura 4.3. Amostrador de saca.



Figura 4.4. Amostrador de água.

Utilizou-se o método de Igual Incremento de Largura para a amostragem de sedimentos em suspensão, por ser o mais adequado às condições dos rios em estudo e aos amostradores disponíveis. Em caso de condições adversas, onde foi impossível esticar um cabo de aço ou manter o barco na mesma posição, foi utilizado um coletor de amostra d'água, realizando, desta forma, uma amostragem pontual de sedimentos em suspensão.

Foram utilizados os seguintes laboratórios da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul: Laboratório de Qualidade Ambiental e Laboratório de Mecânica dos Solos. Os métodos de análise utilizados foram: evaporação, filtragem e, principalmente, tubo de retirada pelo fundo (Figura 4.5), para sedimentos em suspensão; peneiramento e densímetro, para o material do leito.

Para os cálculos do transporte de sedimentos total, foram utilizados os resultados obtidos pelo método modificado de Einstein. A descarga sólida em suspensão foi obtida através da seguinte fórmula:

$$Q_{sm} = 0,0864 \times Q \times C \quad (4.1)$$

onde,

Q_{sm} : descarga sólida em suspensão (ton/dia)

Q : descarga líquida total (m³/s)

C : concentração média do sedimento em suspensão (mg/L)

Adotou-se, para a análise da descarga de fundo, a seguinte fórmula:

$$i_{st} \cdot g_{st} = i_s \cdot g_s \cdot (1 + P_E \cdot I_1 + I_2) \quad (4.2)$$

onde:

$i_{st} \cdot g_{st}$: descarga de sedimento através da camada de fundo, para partículas de determinada faixa granulométrica (ton/dia)

$i_s \cdot g_s$: descarga de sedimento, por unidade de tempo e unidade de largura do canal (ton/s m)

$$P_E = 2,303 \cdot \log\left(\frac{30,2 \cdot h}{\Delta}\right)$$

h : profundidade média (m)

Δ : diâmetro de rugosidade, considerando que 65% da massa do material de fundo possui menor tamanho.

$$I_1 = 0,216 \cdot \frac{A_E^{z-1}}{(1-A_E)^z} \int_{A_E}^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z dy$$

$$I_2 = 0,216 \cdot \frac{A_E^{z-1}}{(1-A_E)^z} \int_{A_E}^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z \cdot \ln y \, dy$$

A_E : razão entre a profundidade não amostrada e a profundidade média das verticais de amostragem

$$z = \frac{n_{ss}}{k \cdot u}$$

n_{ss} : velocidade de arraste das partículas de sedimento (m/s)

k : coeficiente de Von Karman

$$u = \left(\frac{t_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

t_0 : unidade de força trativa

r : densidade da água

Para maior rapidez e confiabilidade nos cálculos, foi utilizado o programa de Anderson Braga, apresentado como monografia em final de curso de Engenharia Civil na UFRJ, em 2001.

Os traçados das curvas granulométricas e da curva de Oden foram executados através do programa AutoCad, que confere a precisão necessária ao método.



Figura 4.5. Tubo de retirada pelo fundo.

4.4. Critério de avaliação do aumento da vazão e da carga sólida nos cursos d'água

O aumento da carga sólida de curso d'água deve ser estudado em relação a um tempo mínimo de cinco anos, período que pode haver transformações na bacia devido a um determinado fenômeno. Em termos desse período pode-se ter transformações do tipo de aumento do uso do solo, ocasião que há erosão crescente à medida que aumenta a área de agricultura.

Atualmente a questão é levada também para o fenômeno da variabilidade climática devido o aquecimento global da Terra. Assim se processa esse fenômeno: se há aumento da temperatura, há aumento da evaporação das superfícies líquidas o que acarreta um aumento da precipitação e, em conseqüência, aumento das vazões dos rios. Considerando que a erosão hídrica é função da precipitação e do escoamento superficial, é certo que a erosão do solo aumenta, acarretando maior transporte de sedimento no curso d'água com reflexos em maior assoreamento dos rios e reservatórios. Foi verificado que o fenômeno provoca aumento de precipitações, de enchentes e outros, como seja o aumento de tempestades com ventos cada vez mais fortes em certas regiões, enquanto que em outras há uma redução.

Estudos de variabilidade climática, segundo o critério acima, têm que ser realizados com grande período de observação, uma vez que o fenômeno se processa lentamente. Lembrar que o aumento da temperatura global foi de 0,6 a 1°C em um século.

Esse tipo de estudo de aumento da vazão e da carga sólida, foi feito com dados sedimentométricos do período de 1977/1982 (DNOS) e da ANA do período de 1999/2002, cujos gráficos representativos estão apresentados.

As curvas de transporte de sedimentos dos diversos locais dos cursos d'água foram obtidas para um ano a partir do início do período chuvoso. Assim foram obtidas, em geral, curvas para 1977/1978, 1978/1979, 1979/1980, 1980/1981 e 1981/1982. Para postos aonde havia a continuidade de medições pela ANA/CPRM (Cáceres, Cuiabá, Córrego Grande e Aquidauana) foram também obtidas as curvas de 1999/2002.

4.5. Outras informações

Foram coletados dados históricos, pertinentes a área de estudo, disponibilizados pela ANA.

Esta pesquisa foi inserida no Subprojeto 1.5 – Distribuição e Transporte de Agroquímicos e Metais Pesados na Bacia do Alto Paraguai do **Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai**, financiado e coordenado pela ANA/GEF/PNUMA/OEA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Resultados das medições

As Tabelas 5.1 a 5.6 apresentam os dados obtidos nas medições hidrossedimentométricas realizadas, respectivamente, nas viagens das rotas 1, 2 e 3.

Tabela 5.1. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 1 (R1P01C, R1P02C, R1P03C).

RIO		RIO NEGRO	RIO AQUIDAUANA	RIO MIRANDA
LOCAL		Fazenda Rio Negro	Fazenda Porto Ciríaco	Fazenda Guaicurus
PARÂMETROS	UNIDADES	R1P01C	R1P02C	R1P03C
Data da medição	dia	12/10/02	13/10/02	17/10/02
Temperatura do ar	°C	37	32	31
Temperatura da água	°C	32	27	30
Largura	m	31,80	44,75	42,35
Área molhada	m ²	26,57	87,13	32,53
Profundidade média	m	0,84	1,95	0,77
Velocidade média	m/s	0,20	0,58	0,61
Vazão	m ³ /s	5,42	50,83	20,00
Conc. sólidos suspensão	mg/L	3,89	64,95	37,37
Desc. sólida suspensão	ton/dia	1,82	285,25	64,58
Desc. sólida leito	ton/dia	2,05	198,97	N/D
Descarga sólida total	ton/dia	3,87	484,22	64,58

N/D: não detectado.

Tabela 5.2. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P01C, R2P02C, R2P04C).

RIO		RIO CUIABÁ	RIO SÃO LOURENÇO	RIO PIQUIRI
LOCAL		Faz. São João	Faz. São José do Borireu	Faz. São José do Piquiri
PARÂMETROS	UNIDADES	R2P01C	R2P02C	R2P04C
Data da medição	dia	27/11/02	28/11/02	30/11/02
Temperatura do ar	°C	33	39	35
Temperatura da água	°C	28	32	31
Largura	m	107,10	88,00	161,00
Área molhada	m ²	313,21	211,09	351,29
Profundidade média	m	2,92	2,40	2,18
Velocidade média	m/s	0,79	0,86	0,50
Vazão	m ³ /s	246,00	180,72	177,07
Conc. sólidos suspensão	mg/L	113,41	220,99	31,32
Desc. sólida suspensão	ton/dia	2247,40	3160,70	433,20
Desc. sólida leito	ton/dia	522,49	1579,13	106,54
Descarga sólida total	ton/dia	2769,89	4739,83	539,74

N/D: não detectado.

Tabela 5.3. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P07C, R2P12C, R2P13C).

RIO		RIO PARAGUAI	CANAL DO TAMENGO	RIO PARAGUAI
LOCAL		Bela Vista do Norte	Polícia Florestal	Ladário
PARÂMETROS	UNIDADES	R2P07C	R2P12C	R2P13C
Data da medição	dia	02/12/02	05/12/02	06/12/02
Temperatura do ar	°C	31	35	37
Temperatura da água	°C	31	30	31
Largura	m	70,30	136,60	334,00
Área molhada	m ²	204,73	196,09	1420,69
Profundidade média	m	2,91	1,44	4,25
Velocidade média	m/s	0,43	N/D	0,55
Vazão	m ³ /s	88,94	N/D	784,10
Conc. sólidos suspensão	mg/L	77,04	63,19	63,69
Desc. sólida suspensão	ton/dia	592,01	N/D	4140,73
Desc. sólida leito	ton/dia	N/D	N/D	521,10
Descarga sólida total	ton/dia	592,01	N/D	4661,83

N/D: não detectado.

Tabela 5.4. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 2 (R2P14C, R2P27C, R2P29C).

RIO		RIO PARAGUAI-MIRIM	RIO PARAGUAI	RIO APA
LOCAL		Faz. Caieira	Porto Murtinho	Foz do Rio Apa
PARÂMETROS	UNIDADES	R2P14C	R2P27C	R2P29C
Data da medição	dia	07/12/02	11/12/02	12/12/02
Temperatura do ar	°C	28	32	31
Temperatura da água	°C	31	31	32
Largura	m	111,40	262,00	117,30
Área molhada	m ²	340,95	3406,95	60,70
Profundidade média	m	3,06	13,00	0,52
Velocidade média	m/s	0,29	0,28	0,46
Vazão	m ³ /s	100,58	948,67	28,10
Conc. sólidos suspensão	mg/L	49,45	59,85	63,40
Desc. sólida suspensão	ton/dia	405,00	4836,70	144,10
Desc. sólida leito	ton/dia	16,40	427,77	N/D
Descarga sólida total	ton/dia	421,40	5264,47	144,10

N/D: não detectado.

Tabela 5.5. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 3 (R3P1C, R3P5C, R3P9C).

RIO		SÃO LOURENÇO	RIO TAQUARI	RIO COXIM
LOCAL		São Lourenço de Fátima	Montante da Foz do Coxim	Foz do Coxim
PARÂMETROS	UNIDADES	R3P1C	R3P3C	R3P4C
Data da medição	dia	21/01/03	25/01/03	26/01/03
Temperatura do ar	°C	26	29	25
Temperatura da água	°C	28	27	27
Largura	m	81,70	112,00	113,80
Área molhada	m ²	168,97	263,98	225,38
Profundidade média	m	2,07	2,36	1,98
Velocidade média	m/s	0,91	1,20	1,28
Vazão	m ³ /s	153,42	317,84	288,82
Conc. sólidos suspensão	mg/L	400,94	612,31	936,14
Desc. sólida suspensão	ton/dia	4817,081	15289,133	21046,471
Desc. sólida leito	ton/dia	3189,964	6835,215	7830,101
Descarga sólida total	ton/dia	8007,045	22124,348	28876,572

N/D: não detectado.

Tabela 5.6. Dados hidrossedimentométricos das seções de medição da rota 3 (R3P10C, R3P11C, R3P12C).

RIO		RIO ITIQUIRA	RIO PIQUIRI	RIO CORRENTES
LOCAL		Faz. Porto Seguro	Montante do Correntes	UHE Ponte de Pedra
PARÂMETROS	UNIDADES	R3P5C	R3P6C	R3P7C
Data da medição	dia	29/01/03	31/01/03	31/01/03
Temperatura do ar	°C	29	30	32
Temperatura da água	°C	31	30	31
Largura	m	72,00	31,95	102,50
Área molhada	m ²	138,14	74,36	161,67
Profundidade média	m	1,92	2,33	1,58
Velocidade média	m/s	1,15	0,52	0,86
Vazão	m ³ /s	159,54	38,68	139,82
Conc. sólidos suspensão	mg/L	205,55	79,25	79,95
Desc. sólida suspensão	ton/dia	2537,299	247,226	853,062
Desc. sólida leito	ton/dia	2699,208	26,774	1126,833
Descarga sólida total	ton/dia	5236,507	274,000	1979,895

N/D: não detectado.

A seguir estão apresentadas as Tabelas 5.7 a 5.23, contendo os resumos das medições efetuadas. De forma geral estão apresentados os valores das concentrações e das descargas de sedimento em suspensão, a descarga do leito, a descarga sólida total e as curvas granulométricas do sedimento em suspensão e do leito. As tabelas estão apresentadas por ordem de data da medição.

As medições ficaram restritas a uma por local, sendo parte delas no período de estiagem e outra parte no período chuvoso.

Pode-se observar, nas tabelas, que os valores de descarga sólida são apresentados como “descarga em suspensão”, “descarga de arrasto” e “descarga sólida total”. A descarga de arrasto diz respeito somente àquela que está em contato direto com o leito. Então a diferença com a descarga sólida total corresponderia parte de descarga em suspensão (carga de material fino) e parte de descarga de material do leito que está em suspensão (material grosso em suspensão ou saltante). A chamada “descarga da zona não amostrada”, que corresponde à distância do bico ao fundo do amostrador quando este está apoiado no leito, também está considerada nos cálculos.

Na ocasião das amostragens não foi possível medir vazão nem coletar sedimento do rio Vermelho devido às altas velocidades. O rio estava, no momento, com ocorrência de cheia.

As descargas sólidas, em geral, foram calculadas pelo método modificado de Einstein, não sendo anotadas esse procedimento. As poucas medições calculadas pelo método simplificado de Colby foram indicadas, uma vez que este método só foi utilizado para amostras onde não foi possível determinar a granulometria do sedimento em suspensão.

Tabela 5.7. Rio Negro em Fazenda Rio Negro – Dia 12.10.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga Suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida Total (t/dia)
		i_s (susp.)	i_f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056		-	1,82	-	
0,0156-0,062	0,0312		-		-	
0,062-0,125	0,0884		0,53		0,011	
0,125-0,250	0,1770		38,51		0,789	
0,250-0,500	0,3540		55,06		1,129	
0,500-1,000	0,7070		5,52		0,113	
1,000-2,000	1,4100		0,38		0,008	
2,000-4,000	2,8300		-	-		
4,000-8,000	5,6600		-	-		
8,000-16,00	11,3200		-	-		
Totais	-		100,0	1,82	2,05	3,87

Nota: Cálculo da descarga sólida total pelo método simplificado de Colby

Tabela 5.8. Rio Aquidauana em Fazenda Porto Ciríaco – Dia 13.10.2002.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga Suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida Total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056		-	285,25	-	
0,0156-0,062	0,0312		-		-	
0,062-0,125	0,0884		0,37		0,736	
0,125-0,250	0,1770		10,04		19,977	
0,250-0,500	0,3540		56,98		113,37	
0,500-1,000	0,7070		31,86		63,392	
1,000-2,000	1,4100		0,75		1,492	
2,000-4,000	2,8300		-			
4,000-8,000	5,6600		-			
8,000-16,00	11,3200		-			
Totais	-		100,0	285,25	198,97	484,22

Nota: Cálculo da descarga sólida total pelo método simplificado de Colby

Tabela 5.9. Rio Miranda em Fazenda Guaicurus, montante Tição de Fogo – Dia 17.10.2002.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga Suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida Total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056			64,58		
0,0156-0,062	0,0312					
0,062-0,125	0,0884					
0,125-0,250	0,1770					
0,250-0,500	0,3540					
0,500-1,000	0,7070					
1,000-2,000	1,4100					
2,000-4,000	2,8300					
4,000-8,000	5,6600					
8,000-16,00	11,3200					
Totais	-			64,58	-	64,58

Nota: Cálculo da descarga sólida total pelo método simplificado de Colby

Tabela 5.10. Rio Cuiabá em Fazenda São João – Dia 27.11.2002.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida Total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	25,53	-	573,8	-	628,2
0,0156-0,062	0,0312	73,03	-	1.641,3	-	1.871,9
0,062-0,125	0,0884	1,15	0,22	25,8	-	37,52
0,125-0,250	0,1770	0,29	9,65	6,5	2,5	31,47
0,250-0,500	0,3540	-	77,09	440,2	56,1	158,0
0,500-1,000	0,7070	-	10,33		21,2	38,84
1,000-2,000	1,4100	-	2,71		2,5	4,014
2,000-4,000	2,8300	-	-		-	
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	
Totais	-	100,0	100,0	2.687,6	82,3	2.769,9

Tabela 5.11. Rio São Lourenço em São José do Borireu – 28.11.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	15,11	-	477,6	-	533,3
0,0156-0,062	0,0312	12,74	-	402,7	-	468,0
0,062-0,125	0,0884	58,28	0,97	1.842,1	0,2	2.630,8
0,125-0,250	0,1770	13,22	30,62	417,8	19,3	552,9
0,250-0,500	0,3540	0,65	61,55	20,5	110,0	494,5
0,500-1,000	0,7070	-	6,36	1.423,1	25,8	59,1
1,000-2,000	1,4100	-	0,50		0,6	1,24
2,000-4,000	2,8300	-	-		-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	-
Totais	-	100,0	100,0	4.583,84	156,0	4.739,84

Tabela 5.12. Rio Piquiri em São José do Piquiri – Dia 30.11.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	37,43	-	162,1	-	183,5
0,0156-0,062	0,0312	26,57	-	115,1	-	133,0
0,062-0,125	0,0884	24,45	0,31	105,9	-	132,7
0,125-0,250	0,1770	8,55	6,93	37,0	-	56,4
0,250-0,500	0,3540	2,22	41,96	9,6	0,4	21,6
0,500-1,000	0,7070	0,78	42,80	3,379	1,3	12,5
1,000-2,000	1,4100	-	5,22	104,85	-	0,05
2,000-4,000	2,8300	-	2,78		-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	-
Totais	-	100,0	100,0	538,05	1,7	539,75

Tabela 5.13. Rio Paraguai em Bela Vista do Norte – 02.12.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	36,17		592,01		214,13
0,0156-0,062	0,0312	39,28				232,54
0,062-0,125	0,0884	24,03				142,26
0,125-0,250	0,1770	0,43				2,55
0,250-0,500	0,3540	0,09				0,53
0,500-1,000	0,7070	-				-
1,000-2,000	1,4100	-				-
2,000-4,000	2,8300	-				-
4,000-8,000	5,6600	-				-
8,000-16,00	11,3200	-				-
Totais	-	100,0		592,01		592,01

Nota: Cálculo da descarga sólida total pelo método simplificado de Colby

Tabela 5.14. Rio Paraguai em Ladário – Dia 06.12.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida Total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	46,33	-	1.918,4	-	2.029,6
0,0156-0,062	0,0312	40,62	-	1.682,0	-	1.817,8
0,062-0,125	0,0884	10,68	0,40	442,2	-	532,5
0,125-0,250	0,1770	1,94	18,40	80,3	1,5	147,7
0,250-0,500	0,3540	0,43	76,20	17,8	17,3	127,0
0,500-1,000	0,7070	-	4,50	499,7	2,6	7,24
1,000-2,000	1,4100	-	0,16		-	0,001
2,000-4,000	2,8300	-	0,34		-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-	-	-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	-	-	-
Totais	-	-	-	4.640,4	21,4	4.661,84

Tabela 5.15. Rio Paraguai-Mirim em Fazenda Caieira – Dia 07.12.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	44,51	-	180,3	-	194,39
0,0156-0,062	0,0312	37,64	-	152,4	-	163,18
0,062-0,125	0,0884	13,69	2,07	55,4	-	56,34
0,125-0,250	0,1770	3,27	48,56	13,2	-	7,29
0,250-0,500	0,3540	0,89	44,39	3,6	-	0,20
0,500-1,000	0,7070	-	4,88	16,40	-	-
1,000-2,000	1,4100	-	0,10		-	-
2,000-4,000	2,8300	-	-		-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-	-	-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	-	-	-
Totais	-	-	-	405,0	-	421,40

Tabela 5.16. Rio Paraguai em Porto Murtinho – Dia 11.12.2002.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga Suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida Total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	60,27	39,47	2.915,1	2,5	3.542,25
0,0156-0,062	0,0312	38,36	30,90	1.855,4	23,4	1.528,08
0,062-0,125	0,0884	1,01	12,81	48,9	7,4	156,71
0,125-0,250	0,1770	0,36	16,82	17,4	3,3	37,42
0,250-0,500	0,3540	-	-	378,56	-	-
0,500-1,000	0,7070	-	-		-	-
1,000-2,000	1,4100	-	-		-	-
2,000-4,000	2,8300	-	-	-	-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-	-	-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	-	-	-
Totais	-	100,0	100,0	4.836,7	49,2	5.264,46

Tabela 5.17. Rio Apa próximo à Foz – Dia 12.12.2002.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	51,44	-	74,1	-	
0,0156-0,062	0,0312	39,90	-	57,5	-	
0,062-0,125	0,0884	5,91	1,25	8,5	-	
0,125-0,250	0,1770	2,28	2,25	3,3	-	
0,250-0,500	0,3540	0,47	5,72	0,7	-	
0,500-1,000	0,7070	-	36,94		-	
1,000-2,000	1,4100	-	31,04		-	
2,000-4,000	2,8300	-	17,31		-	
4,000-8,000	5,6600	-	5,49		-	
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	
Totais	-	100,0	100,0	144,1	0,0	144,1

Tabela 5.18. Rio São Lourenço em Fátima do São Lourenço – Dia 21.01.2003.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	17,28	-	832,4	-	940,11
0,0156-0,062	0,0312	12,88	-	620,4	-	725,57
0,062-0,125	0,0884	50,10	0,14	2.413,4	-	3.312,19
0,125-0,250	0,1770	18,08	16,99	870,9	10,5	2.027,07
0,250-0,500	0,3540	1,66	67,36	80,0	117,3	801,78
0,500-1,000	0,7070	-	14,43		70,9	195,20
1,000-2,000	1,4100	-	1,02	2.988,85	2,4	5,097
2,000-4,000	2,8300	-	0,06		-	0,036
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	4.817,1	-	-
Totais	-	100,0	100,0	7.805,95	201,1	8.007,05

Tabela 5.19. Rio Taquari a montante da foz do Coxim – Dia 25.01.2003.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	19,31	-	2.952,3	-	3.320,0
0,0156-0,062	0,0312	12,57	-	1.921,8	-	2.207,3
0,062-0,125	0,0884	21,40	0,21	3.271,9	0,2	4.070,2
0,125-0,250	0,1770	46,72	13,58	7.143,1	29,1	8.934,8
0,250-0,500	0,3540	-	74,88	6.159,4	453,2	2.000,0
0,500-1,000	0,7070	-	10,63		181,6	1.542,8
1,000-2,000	1,4100	-	0,70		11,4	48,79
2,000-4,000	2,8300	-	-		-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-	-	-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	-	-	-
Totais	-	100,0	100,0	21.448,5	675,4	22.123,9

Tabela 5.20. Rio Coxim próximo à Foz – Dia 26.01.2003.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	41,04	-	8.637,5	-	9.814,9
0,0156-0,062	0,0312	15,71	-	3.306,4	-	3.864,9
0,062-0,125	0,0884	22,44	1,15	4.722,8	0,9	6.202,9
0,125-0,250	0,1770	10,32	42,08	2.172,0	95,1	3.985,6
0,250-0,500	0,3540	4,95	48,74	1.041,8	311,7	4.434,5
0,500-1,000	0,7070	2,57	7,11	540,89	128,3	506,3
1,000-2,000	1,4100	2,97	0,92	625,08	26,0	67,50
2,000-4,000	2,8300	-	-	7.267,9	-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	-
Totais	-	100,0	100,0	28.314,4	562,2	28.876,6

Tabela 5.21. Rio Itiquira em Fazenda Porto Seguro – Dia 29.01.2003.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	27,41	-	695,5	-	795,9
0,0156-0,062	0,0312	10,21	-	259,1	-	307,0
0,062-0,125	0,0884	18,93	1,17	480,3	0,7	662,9
0,125-0,250	0,1770	16,77	22,04	425,5	34,8	918,4
0,250-0,500	0,3540	11,35	46,52	288,0	208,0	1.936,4
0,500-1,000	0,7070	8,28	10,77	210,0	135,9	433,0
1,000-2,000	1,4100	7,05	4,66	178,9	46,4	109,3
2,000-4,000	2,8300	-	11,51	2.234,5	38,1	72,34
4,000-8,000	5,6600	-	3,33		0,8	1,29
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	-
Totais	-	100,0	100,0	4.771,8	464,7	5.236,5

Tabela 5.22. Rio Piquiri a montante da foz do Rio Correntes – 31.1.2003.

Faixa granu- lométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc. sólida total (t/dia)
		i _s (susp.)	i _f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	62,19	-	153,8	-	167,8
0,0156-0,062	0,0312	35,87	-	88,7	-	98,24
0,062-0,125	0,0884	1,94	0,34	4,8	-	5,60
0,125-0,250	0,1770	-	21,48	25,0	0,2	2,33
0,250-0,500	0,3540	-	75,85		1,6	
0,500-1,000	0,7070	-	2,33		0,1	
1,000-2,000	1,4100	-	-	-	-	-
2,000-4,000	2,8300	-	-	-	-	-
4,000-8,000	5,6600	-	-	-	-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-	-	-	-
Totais	-	100,0	100,0	272,2	1,8	274,0

Tabela 5.23. Rio Correntes em UHE Ponte de Pedra – Dia 31.1.2003.

Faixa granulométrica	D (diâm.médio) (mm)	Granulometria (%)		Descarga suspensão (t/dia)	Descarga de arrasto (t/dia)	Desc.sólida total (t/dia)
		i_s (susp.)	i_f (leito)			
0,000-0,0156	0,0056	22,61	-	192,9	-	224,08
0,0156-0,062	0,0312	11,88	-	101,3	-	122,35
0,062-0,125	0,0884	23,31	0,20	198,8	-	283,86
0,125-0,250	0,1770	18,56	10,43	158,3	4,9	367,26
0,250-0,500	0,3540	11,65	67,37	99,4	90,1	771,46
0,500-1,000	0,7070	6,24	16,27	53,2	61,4	190,58
1,000-2,000	1,4100	5,75	3,17	49,1	8,1	18,82
2,000-4,000	2,8300	-	2,56	961,6	-	1,49
4,000-8,000	5,6600	-	-		-	-
8,000-16,00	11,3200	-	-		-	-
Totais	-	100,0	100,0	1.814,6	165,4	1.980,0

5.2. Dados obtidos de trabalhos antecedentes

Estudos sedimentológicos antecedentes na BAP, bem como medições da carga sólida, não são tão freqüentes quanto necessários. A maioria das medições foram realizadas em curto período, com baixa freqüência ou medições isoladas como estas do Subprojeto e as da PCBAP.

Medições da descarga sólida nos rios da BAP só foram iniciadas em 1964 pela Tecnosolo e IPH/UFRGS, a serviço da EFNOB, visando estudos de erosão ao redor dos pilares da ponte ferroviária que cruza o rio Paraguai em Porto Esperança. As poucas medições foram realizadas em 1964 e 1965.

Durante o Projeto Pantanal, iniciado em 1967 pelo DNOS e UNESCO, foram realizadas medições de descarga sólida total em 15 postos, entre 1977 e 1982, com freqüência mensal, conforme indica a Tabela 5.24 abaixo.

No período de Novembro/1987 a Dezembro/1989 a FEMA e a UFMT, em programa conjunto, efetuaram medições em rios da bacia do São Lourenço nos locais indicados a seguir:

- Rio Coité em Coité
- Rio Poxoréuzinho em BR-130
- Rio da Areia a Montante da Caixa de Lavagem
- Rio da Areia a Jusante da Rodoviária
- Rio Poxoréu próxima à Foz
- Rio Paraíso em Paraíso do Leste

- Rio Vermelho em Jarudore
- Rio Vermelho em Rondonópolis
- Rio Arareal em Rondonópolis
- Rio São Lourenço em São Pedro da Cipa

Tabela 5.24. Postos sedimentométricos operados durante o Projeto Pantanal do DNOS e UNESCO (medições realizadas pela Hidrologia S.A.).

Rio - Posto	Medições	Período	Quant. de med.	Observação
Rio Aquidauana em Aquidauana	Descarga em suspensão, descarga sólida total e granulometria em suspensão e do leito	Mar.1977 a Fev.1982	64	As primeiras medições, desde 1977 a março de 1978, contêm erros e devem ser utilizadas a partir de análise de consistência
Rio Aquidauana em Ponte do Grego		Out.1979 a Mar.1982	30	
Rio Cuiabá em Cuiabá		Abr.1977 a nov.1981	52	
Rio Cuiabá em Marzagão		Nov.1979 a Jan.1982	20	
Rio Cuiabá em Porto Alegre		Abr.1977 a Fev.1982	57	
Rio Itiquira a Mont. Estrada BR-163		Out.1979 a Mar.1982	30	
Rio Jorigue em Pedra Preta		Out.1979 a Mar.1982	24	
Rio Manso em Porto de Cima		Mai.1977 a Mai.1981	49	
Rio Manso em Rio Manso (Fazenda)		Jul.1981 a Jan.1982	4	
Rio Miranda em Estrada MT-738 (ant.)		Abr.1977 a Fev.1982	60	
Rio Paraguai em Cáceres		Mar.1977 a Fev.1982	55	
Rio Paraguai em Porto Esperança		Abr.1977 a Nov.1981	54	
Rio Piquiri em Estrada BR-163		Abr.1977 a Mar.1982	60	
Rio São Lourenço em Córrego Grande		Abr.1977 a Jul.1978	52	
Rio Taquari em Coxim		Mar.1977 a Mar.1982	60	

O estudo de curto prazo tinha por finalidade a verificação da degradação dos solos da região provocada pela intensa atividade de mineração de diamante, pela atividade agrícola para produção de grãos e pela construção de estradas em áreas propícias a erosão. Quase todos os postos instalados tiveram vida efêmera, operando durante o período das medições.

Durante o PCBAP, Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal), um estudo em conjunto com o PNMA, Programa Nacional de Meio Ambiente, a SEMADES/MS e a FEMA/MT, executado pelo IPH/UFRGS, foram realizadas diversas medições nos meses de Agosto e Setembro/1996, constando de coleta de material em suspensão para análise de concentração e cálculo da descarga em suspensão, coleta de material do leito para análise granulométrica, medição direta do transporte em suspensão e do leito, medição da descarga

líquida e parâmetros de qualidade d'água. Essas medições foram realizadas em diversas seções ao longo dos cursos d'água do Paraguai, Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Itiquira, Correntes, Taquari, Coxim, Negro, Vermelho, Miranda e Aquidauana. Em alguns desses rios só foi realizada medição em uma seção e, em outros, em várias seções, não tendo sido instalados postos fluviométricos, constando de uma medição por seção.

O CPAP, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, da EMBRAPA em Corumbá, realizou diversas medições de descarga em suspensão em 12 seções ao longo do Rio Taquari, entre Abril/1995 e Abril/1997, para estudos de produção de sedimentos e de depósitos ao longo do curso d'água.

Atualmente, na rede operada pela ANA, constam 10 postos sedimentométricos nos quais são medidos também parâmetros de qualidade d'água, sendo todos de operação recente, alguns a partir de 1999. A frequência é de quatro medições por ano sendo que os resultados podem ser obtidos no banco de dados *Hidroweb* da ANA.

Medições da ANA em Cáceres, Cuiabá, Córrego Grande e Aquidauana, já disponíveis para os anos mais recentes foram utilizados nos presentes estudos.

- 6607 0004 – Rio Paraguai em Cáceres
- 6612 0000 – Rio Paraguai em Porto Conceição
- 6623 1000 – Rio Manso em Fazenda Raizama
- 6626 0001 – Rio Cuiabá em Cuiabá
- 6638 0000 – Rio São Lourenço em São Pedro da Cipa
- 6645 0001 – Rio Vermelho em Rondonópolis
- 6646 0000 – Rio São Lourenço acima do Córrego Grande
- 6649 0000 – Rio Correntes em Estrada BR-163
- 6660 0000 – Rio Piquiri em São Jerônimo
- 6680 0000 – Rio Paraguai em Amolar
- 6682 5000 – Rio Paraguai em Ladário
- 6687 0000 – Rio Taquari em Coxim
- 6694 5000 – Rio Aquidauana em Aquidauana
- 6710 0000 – Rio Paraguai em Porto Murtinho

Algumas medições esporádicas foram realizadas por diversas entidades visando principalmente estudos de aproveitamentos hidrelétricos. É o caso das medições realizadas no rio Coxim e Jauru, pela Engevix, no estudo do inventário do rio Taquari quando foram feitas duas medições por posto em local de barragem, em Dezembro/2002.

5.3. Comparação dos dados históricos com os dados obtidos pelo projeto

As medições das descargas sólidas realizadas durante o projeto consistiram de uma campanha por local, sendo que em poucas delas foram utilizados postos fluviométricos existentes. As equipes deixaram em cada local uma referência para permitir correlação com futuros estudos.

Fica difícil uma comparação isolada desde que não ocorreram valores por demais elevados. Essa comparação, então, só poderia ser feita a partir de maior quantidade de dados.

Utilizando-se os dados de descarga sólida em suspensão do DNOS foi tentada uma comparação com as medições realizadas, embora os dados históricos tenham sido obtidos entre 1977 e 1982. Foram utilizados os valores da descarga em suspensão devido a maior precisão dessas medidas, sendo a descarga sólida do leito e a descarga total sujeitas a maiores erros.

O procedimento consistiu em reunir todos os dados dos diversos postos, com todas as medições de vazão (Q) e de descarga em suspensão (Q_{ss}) correspondentes, traçar um gráfico de $Q_{ss}=f(Q)$, obtendo as respectivas curvas e equações para cada posto.

No gráfico da Figura 5.1 estão apresentadas todas as curvas de transporte de sedimento dos postos do DNOS obtidas com o traçado de todas as medições disponíveis. Em seguida foram traçados os valores de descarga sólida em suspensão obtidas durante o projeto, estando representadas em pequenos quadrados e cujas configurações estão indicadas na lista.

Pode-se observar que as medições, em geral, ficaram na ordem de grandeza das medições antecedentes. É bom lembrar que as medições do DNOS foram realizadas na época de maior erosão na bacia devido ao aumento da agricultura nas décadas de 70 e 80.

Vê-se, no entanto, que os resultados das medições dos rios São Lourenço (em São José do Borireu e em Fátima), Coxim (próximo à foz) e Taquari (a montante da foz do rio Coxim) apresentaram valores altos de descarga em suspensão.

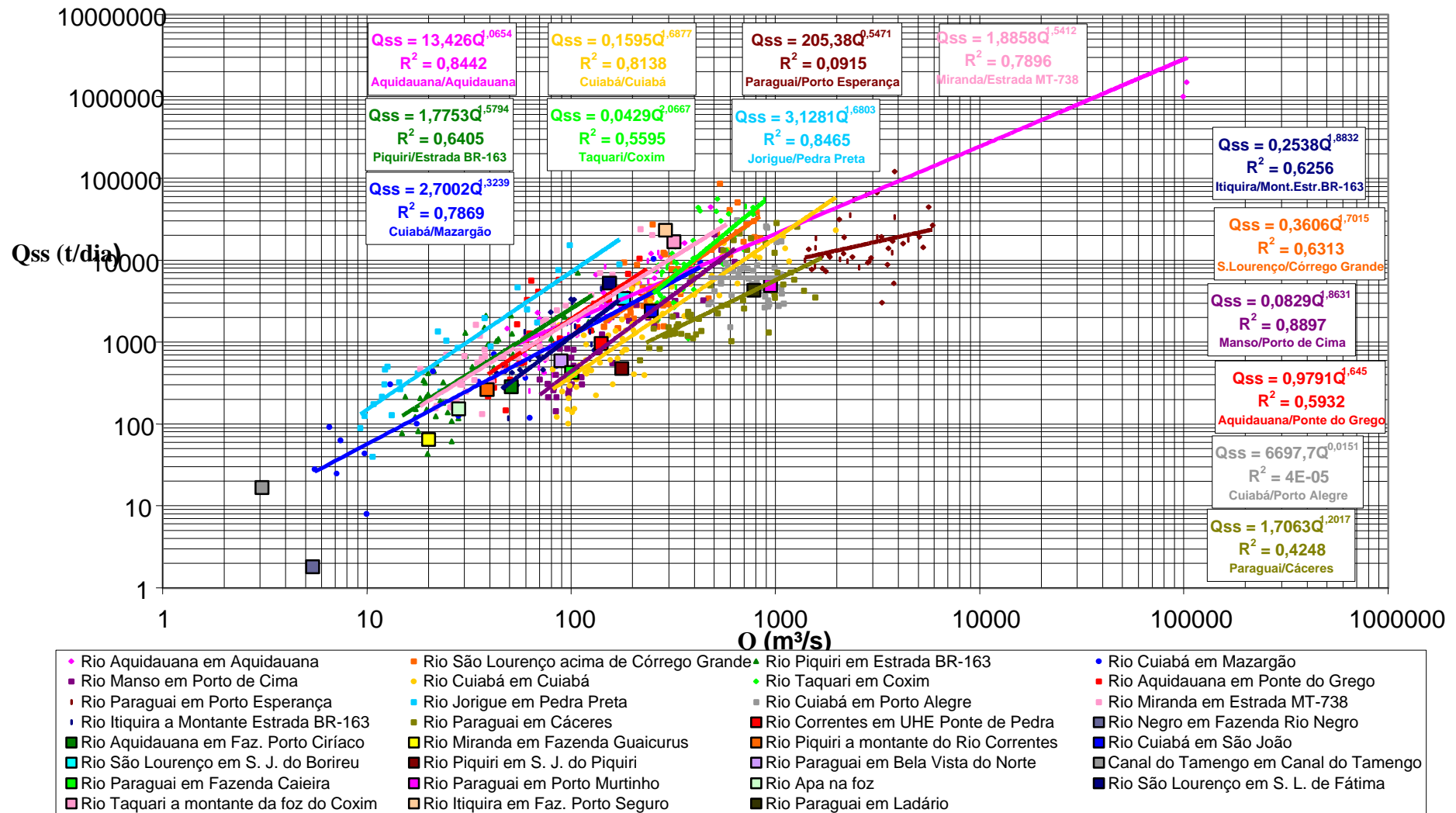


Figura 5.1. Curvas-chave de sedimentos em suspensão - bacia do Pantanal.

5.4. Comparações no presente estudo

5.4.1. Vazão, deflúvio sólido e produção de sedimentos em suspensão

A partir das medições de descarga sólida do período de 1977/1982, do DNOS, foram preparadas as curvas de transporte de sedimentos apresentadas nas Figuras 5.3, 5.7, 5.11, 5.15, 5.19, 5.23, 5.27, 5.31, 5.35, 5.39, 5.43, 5.46 e 5.50. Utilizando as equações dessas curvas nas séries de vazões médias diárias de cada posto, obtido no banco de dados da ANA (arquivo *Hidroweb*), foram geradas as descargas em suspensão médias anuais e os respectivos deflúvios sólidos em suspensão cujas médias estão apresentadas na Tabela 5.25, juntamente com as vazões médias e as áreas de drenagem dos postos considerados.

Os valores de produção de sedimentos em suspensão (descarga sólida específica média) e de área de drenagem dos respectivos locais foram traçados em gráfico (Figura 5.2) aonde foi traçada a curva obtida por Khosla (EUA) considerada como valores normais de produção de sedimento (CARVALHO, 1994). O gráfico de Khosla foi obtido de publicação do PNUD e OMM (1977).

Tabela 5.25. Produção de sedimento em suspensão de locais com postos fluviométricos (DNOS – período 1977/1982 e ANA – período 1999-2002).

Rio – Local	Área de drenagem A (km ²)	Vazão média Q (m ³ .s ⁻¹)	Deflúvio sól. Susp.médio D _{ss} (t.ano ⁻¹)	Prod.Sed. Suspensão (Desc. sól. Espec.méd.) P _{ss} (t.km ⁻² .ano ⁻¹)
Rio Paraguai em Cáceres *	33.860	537,3	1.487.203	43,9
Rio Manso em Porto de Cima	8.940	169,0	635.144	71,0
Rio Cuiabá em Cuiabá *	21.730	356,5	2.345.052	107,9
Rio Jorigue em Pedra Preta	2.400	29,69	802.785	334,5
Rio São Lourenço em Córrego Grande *	21.800	331,0	4.205.271	192,9
Rio Itiquira a Mont. Estrada BR-163	5.100	72,94	347.801	68,2
Rio Piquiri em Estrada BR-163	3.240	33,11	250.992	77,5
Rio Cuiabá em Porto Alegre	-	(702,1)	(3.068.694)	-
Rio Taquari em Coxim	27.040	328,6	4.119.813	152,4
Rio Miranda em Estrada MT-738 (ant.)	11.820	106,2	1.758.935	148,8
Rio Aquidauana em Ponte do Grego	-	(82,77)	(613.477)	-
Rio Aquidauana em Aquidauana *	15.200	125,8	1.411.400	92,9
Rio Paraguai em Porto Esperança	363.500	2.150	7.325.634	20,2
Resumo				
Alta e média bacia (soma referente a postos com dados sedimentométricos e cálculos de P _{ss})	151.130	2.090,1	17.364.396	114,9
Porto Esperança (considerado como exutório da bacia)	363.500	2.150	7.325.634	20,2

* Postos do DNOS e da ANA tendo resultados desde 1978 a 2002 (sem dados entre 1983 e 1998)

A análise do gráfico mostra que os locais dos rios Jorigue, São Lourenço e Taquari apresentam valores ainda toleráveis porém altos para a BAP. Isto reflete maior erosão nas respectivas áreas de contribuição. Segue na ordem os locais do rio Miranda, do Cuiabá e do Aquidauana. Por último os locais dos rios Piquiri, Itiquira e do alto rio Paraguai, em Cáceres, que apresentam valores menores, refletindo menor erosão nas suas áreas contribuintes.

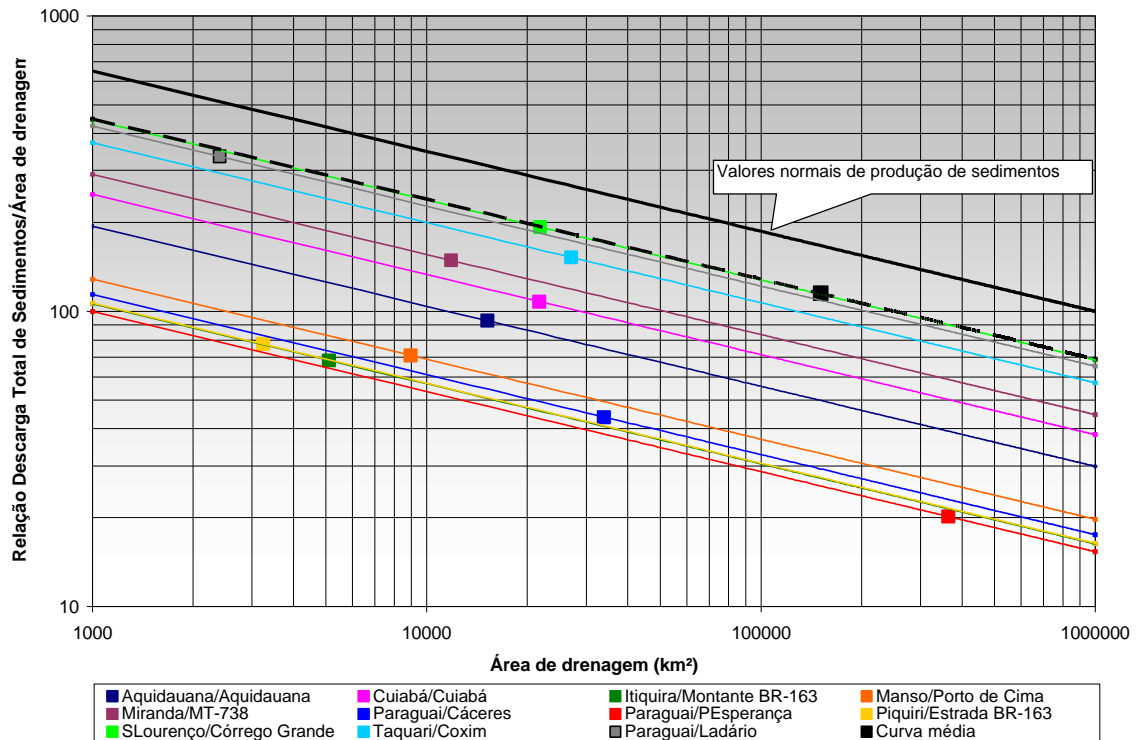


Figura 5.2. Produção de sedimentos em suspensão em função da área de contribuição em comparação com valores normais de produção de sedimentos para os EUA.

Fonte: PNUD e OMM (1977)

Somando-se os valores de áreas de drenagem e de descarga sólida para os postos da alta e média bacia, conforme apresentada no resumo abaixo da Tabela 5.25 e traçando-se no gráfico da Figura 5.2, constata-se que a quantidade de transporte pode ser considerada como valores ainda baixos, embora para o Pantanal seja indesejável. Vê-se que o valor total já se aproxima de valores normais e que o desequilíbrio pode ocorrer caso continue o aumento da taxa de erosão e de transporte de sedimentos nos rios da BAP.

Esse desequilíbrio pode não estar longe de ocorrer, uma vez que a erosão na bacia está aumentando conforme será demonstrado nos itens seguintes

5.4.2. Avaliação do aumento da vazão e da carga sólida nos cursos d'água

Para as séries de vazões médias dos diversos postos, obtidos da ANA (banco *Hidroweb*), foi traçado o fluviograma de vazões em função do tempo e obtidas as curvas de tendência, conforme Figuras 5.4, 5.8, 5.12, 5.16, 5.20, 5.24, 5.28, 5.32, 5.36, 5.40, 5.44, 5.47 e 5.51.

A partir das equações de sedimento foram obtidos os valores de descarga sólida em suspensão diárias e mensais para os diversos meses e anos o que permitiu o traçado dos gráficos de descarga sólida em suspensão em função do tempo e obtida a curva de tendência, conforme Figuras 5.5, 5.9, 5.13, 5.17, 5.21, 5.25, 5.29, 5.33, 5.37, 5.41, 5.45, 5.48 e 5.52.

Os valores médios anuais de vazões foram acumulados juntamente com os respectivos valores de descargas em suspensão e traçados os gráficos de vazão acumulada em função da descarga em suspensão. Esses gráficos são denominados de curvas de massa e podem traduzir o comportamento dessas grandezas e dos fenômenos que representam, conforme Figuras 5.5, 5.10, 5.14, 5.18, 5.22, 5.26, 5.30, 5.34, 5.38, 5.42, 5.46, 5.49 e 5.53.

Os trechos em reta de cada curva de massa comparados com os trechos superiores mostram a variação do transporte de sedimento nos períodos considerados.

O cálculo da taxa de variação do transporte de sedimentos foi efetuado com a utilização dos coeficientes das retas. A inclinação da primeira reta da curva de massa fornece um coeficiente r_1 enquanto que a segunda resulta em r_2 , calculados, cada um, pela soma das descargas sólidas dividido pela soma das vazões. Calcula-se E_c , aumento na descarga sólida, em cada período igual a n anos, e R a taxa anual, pelas seguintes equações:

$$E_c = \frac{r_2 - r_1}{r_1} \quad (4.1)$$

$$(1 + R)^n = 1 + E_c \quad (4.2)$$

As taxas anuais de aumento do transporte de sedimento R foram calculadas para os diversos trechos de retas (ramos) das curvas de massa correspondentes aos diversos postos mostrando o aumento ou redução do transporte de sedimento no curso d'água e local considerado. Os resultados foram anotados na Tabela 5.26.

As análises dos gráficos de tendência do aumento ou redução da vazão e da descarga sólida bem como as de curvas de massa de cada rio e local foram descritas após cada grupo de gráficos como a seguir.

Tabela 5.26. Taxas de aumento do transporte de sedimento verificadas nos diversos períodos estudados.

Rio – Local	Taxas (%)							Q _{liq} Média (m ³ /s)	Q _{ss} Média (t/dia)	Histórico de Q _{liq}
	Ramo 1-2	Ramo 2-3	Ramo 1-3	Ramo 3-4	Ramo 4-5	Ramo 1-4	Ramo 1-5			
Paraguai em Cáceres	17,99	5,12	17,53	-	0,79	-	1,09	537,34	4.074,5	Jan.66 a Jan.03
Manso em Porto de Cima	-11,00	14,00	1,09	-	-	-	-	168,97	1.740,1	Jan.31 a Dez.96
Cuiabá em Cuiabá	0,30	-	-	50,83	-	0,86	-	356,50	6.424,8	Jan.62 a Dez.02
Jorigue em Pedra Preta	-38,23	-	-	-	-	-	-	29,69	2.199,4	Jul.79 a Mar.02
São Lourenço Ac. Cor. Grande	3,05	66,80	9,05	-	-	-	-	330,99	11.521,3	Nov.69 a Out.02
Itiquira a mont. Est. BR-163	35,81	-	-	-	-	-	-	72,94	952,9	Jan.31 a Dez.97
Piquiri em Est.BR-163	18,84	8,10	20,66	-	-	-	-	33,11	687,7	Jun.69 a Dez.88
Cuiabá em Porto Alegre	-11,64	-	-	-	-	-	-	702,09	8.407,4	Jan.68 a Dez.95
Taquari em Coxim	-4,03	48,35	30,34	-	-	-	-	328,57	11.287,2	Jan.66 a Dez.95
Miranda em Est.MT-738(ant)	53,51	3,30	41,32	-	-	-	-	106,15	4.819,0	Mai.78 a Dez.95
Aquidana em Ponte do Grego	-	-	-	-	-	-	-	82,77	1.680,76	Jan.82 a Dez.95
Aquidauana em Aquidauana	2,71	16,05	14,08	-3,15	-	1,03	-	125,78	3.866,9	Jun.76 a Out.02
Paraguai em Pto.Esperança	5,33	-	-	-	-	-	-	2.150,40	20.070,2	Jan.64 a Dez.95

Na seqüência são apresentados os gráficos já mencionados, com as discussões pertinentes a cada um deles, organizados por posto de coleta de dados.

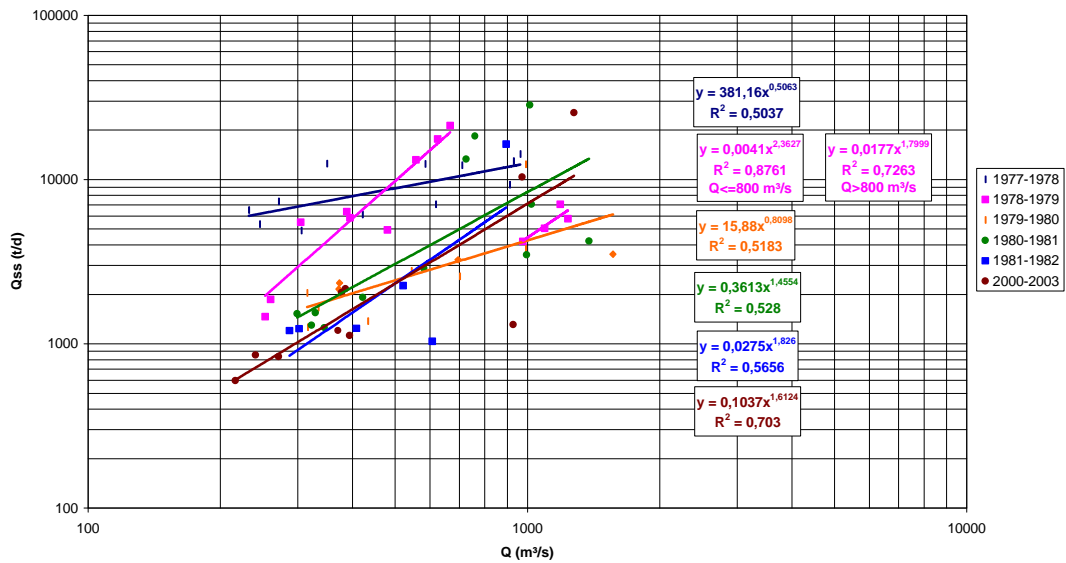


Figura 5.3. Curva-chave de sedimentos – Rio Paraguai em Cáceres.

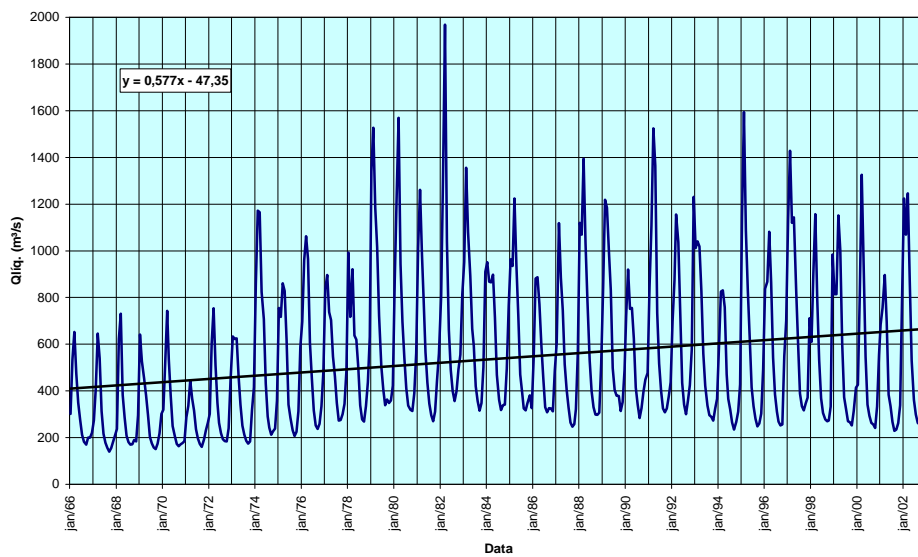


Figura 5.4. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Paraguai em Cáceres.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Paraguai em Cáceres tiveram tendência de aumento no período de 1966 a 2002.

A análise do gráfico, apresentado na Figura 5.4, mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Paraguai em Cáceres tiveram tendência de aumento no período de 1966 a 2002.

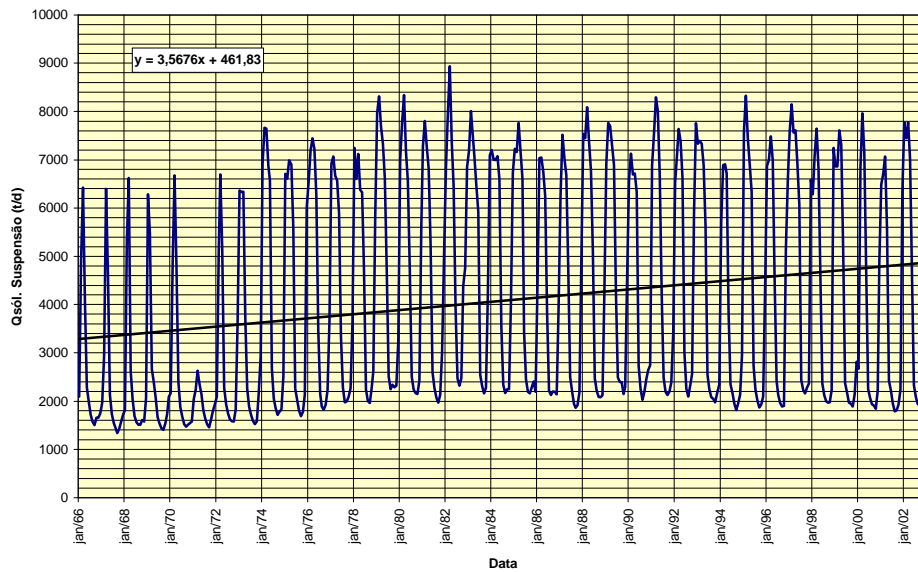


Figura 5.5. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Paraguai em Cáceres.

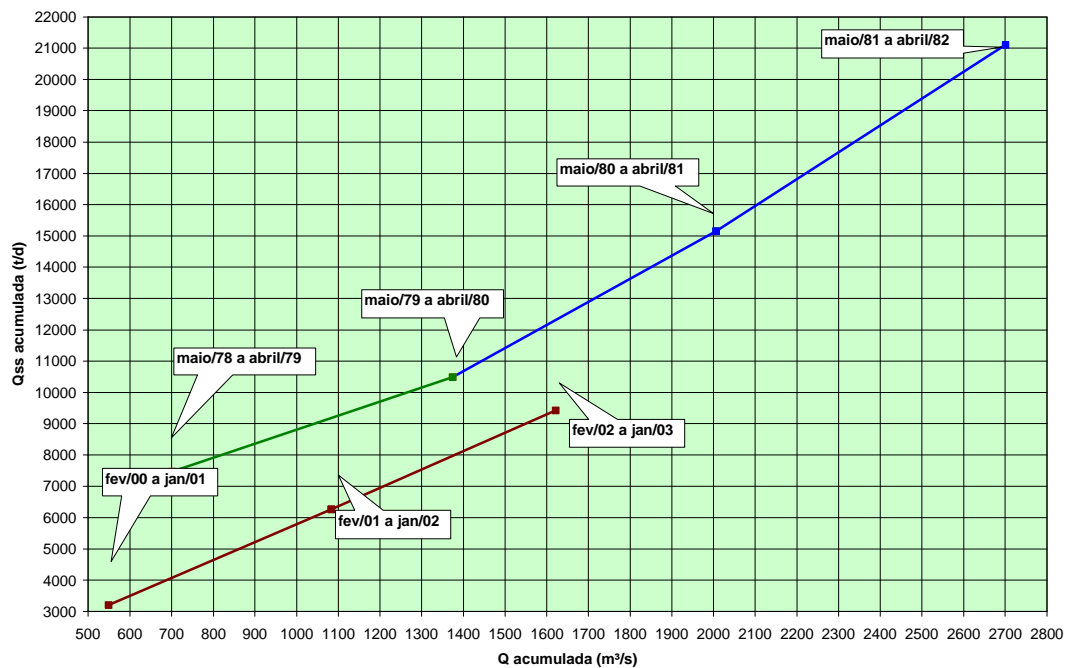


Figura 5.6. Curva de Massas – Rio Paraguai em Cáceres.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Paraguai em Cáceres resultaram em 17,99% de 1978 a 1981, diminuindo para 5,12% em abril/1982 até 0,79% em Jan/2003. O valor final de 1978 para 2003 foi de 1,09%. Certamente que os valores altos se referem ao início de aumento de áreas agrícolas e que houve depois uma estabilização da erosão na região.

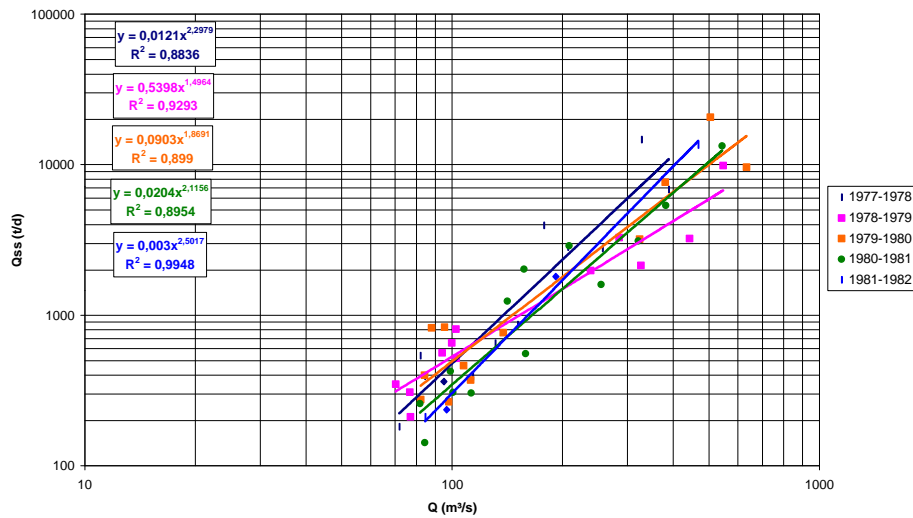


Figura 5.7. Curva-chave de sedimentos – Rio Manso em Porto de Cima.

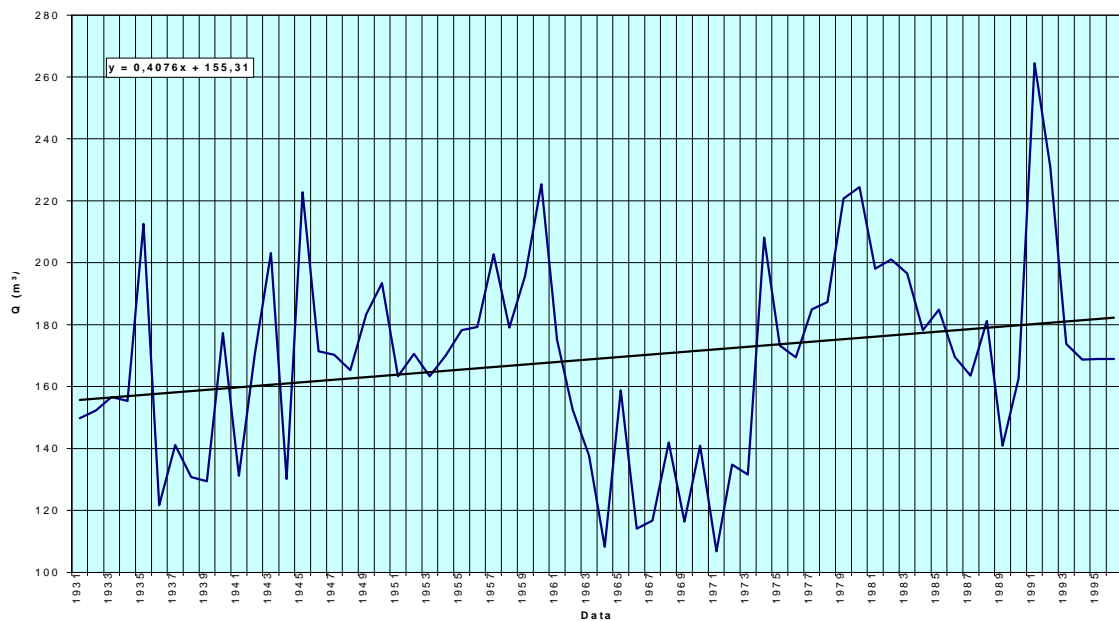


Figura 5.8. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Manso em Porto de Cima.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Manso em Porto de Cima tiveram tendência de aumento no período de 1931 a 1995.

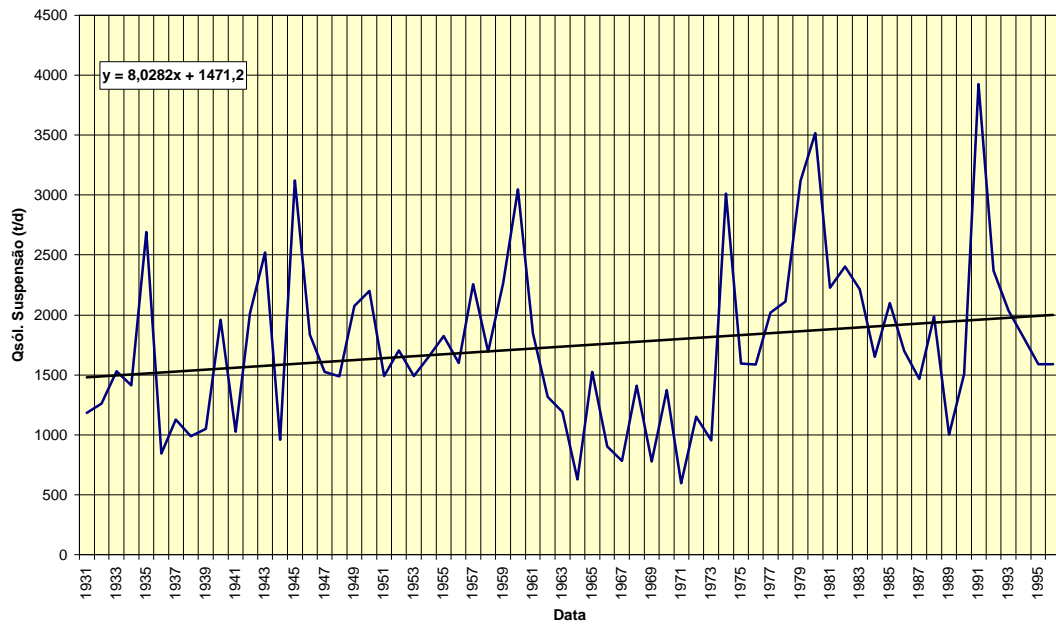


Figura 5.9. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Manso em Porto de Cima.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Manso em Porto de Cima tiveram tendência de aumento no período de 1931 a 1995.

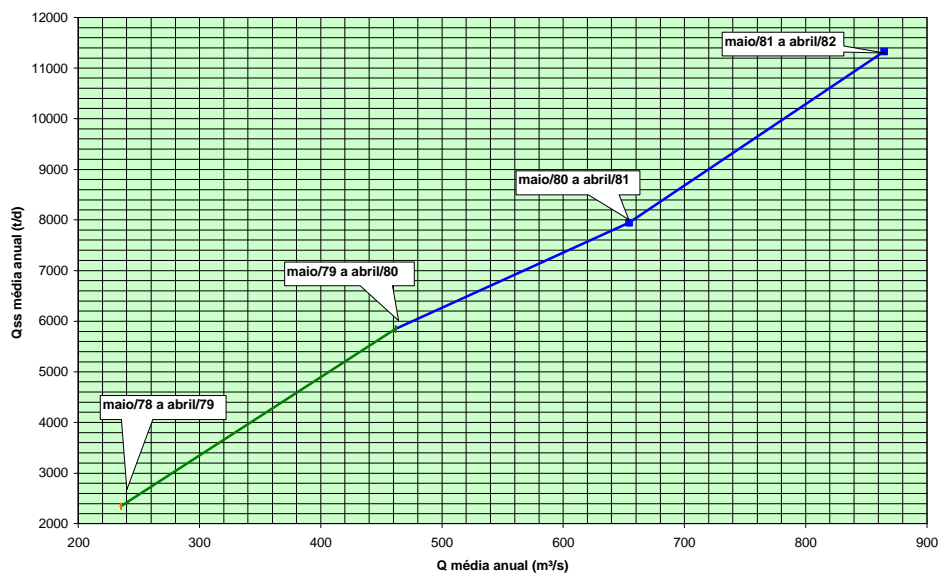


Figura 5.10. Curva de Massas – Rio Manso em Porto de Cima.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Manso em Porto de Cima resultaram em redução de 11,0% entre 1978 a 1981 e aumento de 14,0% de abril/1980 a

abril/1982, com valor final de 1,09% de 1978 a 1982. Certamente que o aumento foi devido ao maior uso do solo na região.

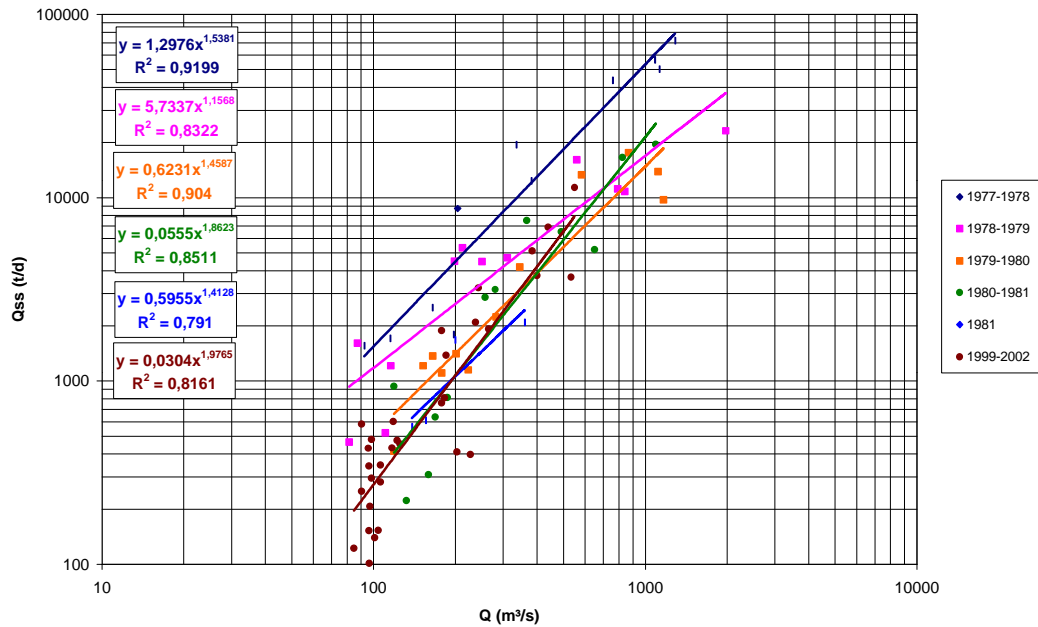


Figura 5.11. Curva-chave de sedimentos – Rio Cuiabá em Cuiabá.

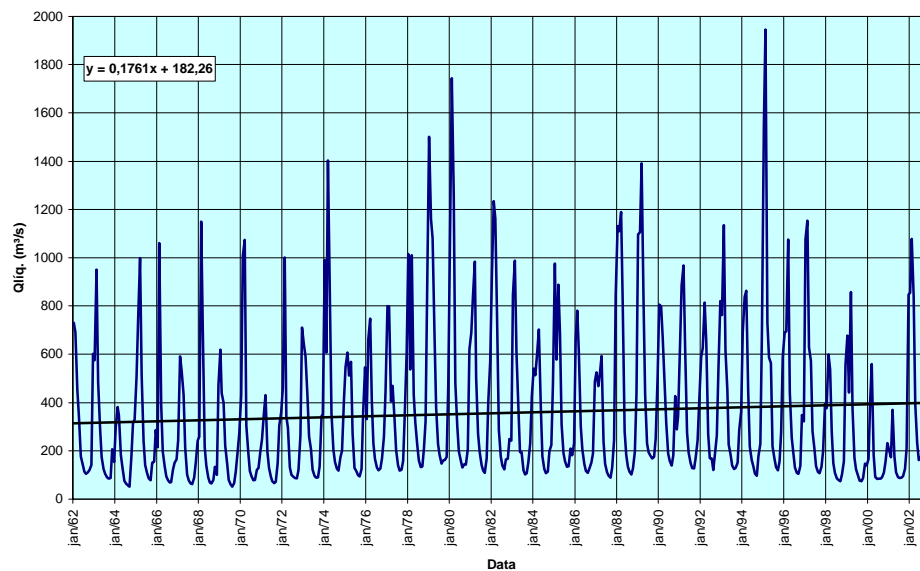


Figura 5.12. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Cuiabá em Cuiabá.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Cuiabá em Cuiabá tiveram tendência de aumento no período de 1962 a 2002.

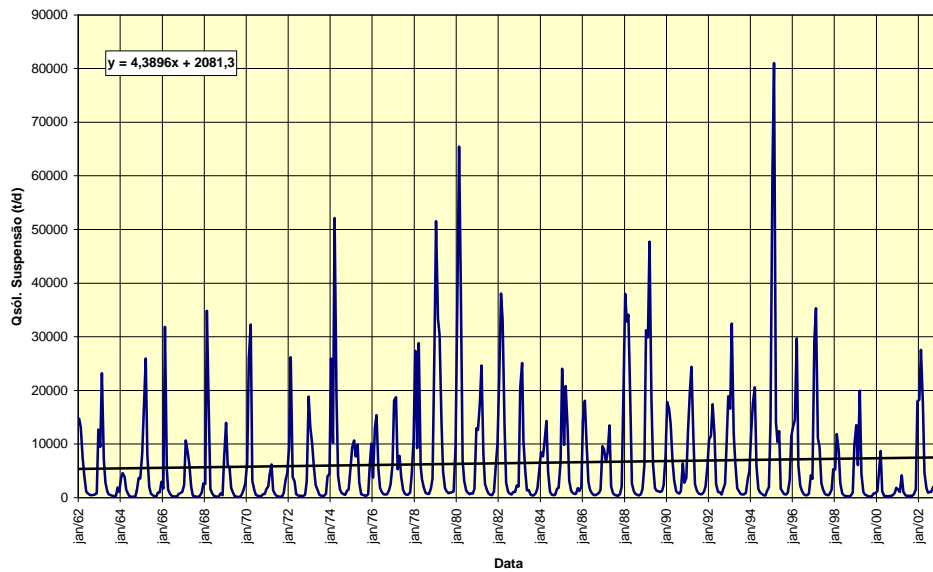


Figura 5.13. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Cuiabá em Cuiabá.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Cuiabá em Cuiabá tiveram tendência de aumento no período de 1962 a 2002.

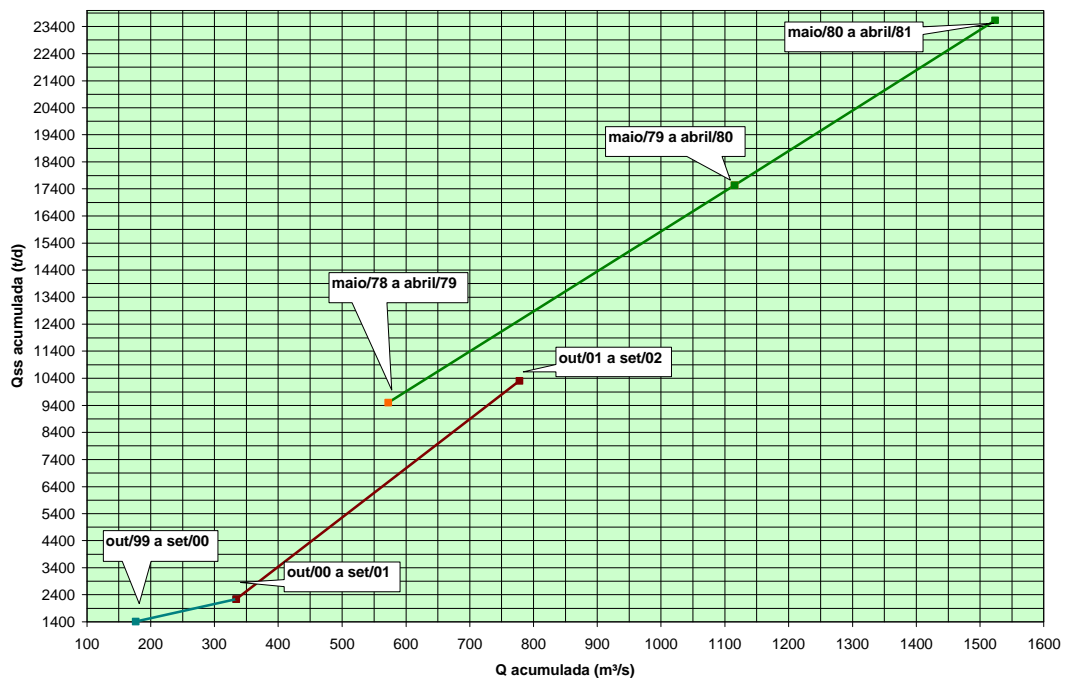


Figura 5.14. Curva de Massas – Rio Cuiabá em Cuiabá.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Cuiabá em Cuiabá resultaram em valor baixo de 0,3% entre maio/1978 a abril/1981. De outubro/1999 a

setembro/2002 a taxa aumentou de 50,8% indicando um grande aumento de uso do solo na região ou de mineração nos rios à montante nos últimos anos.

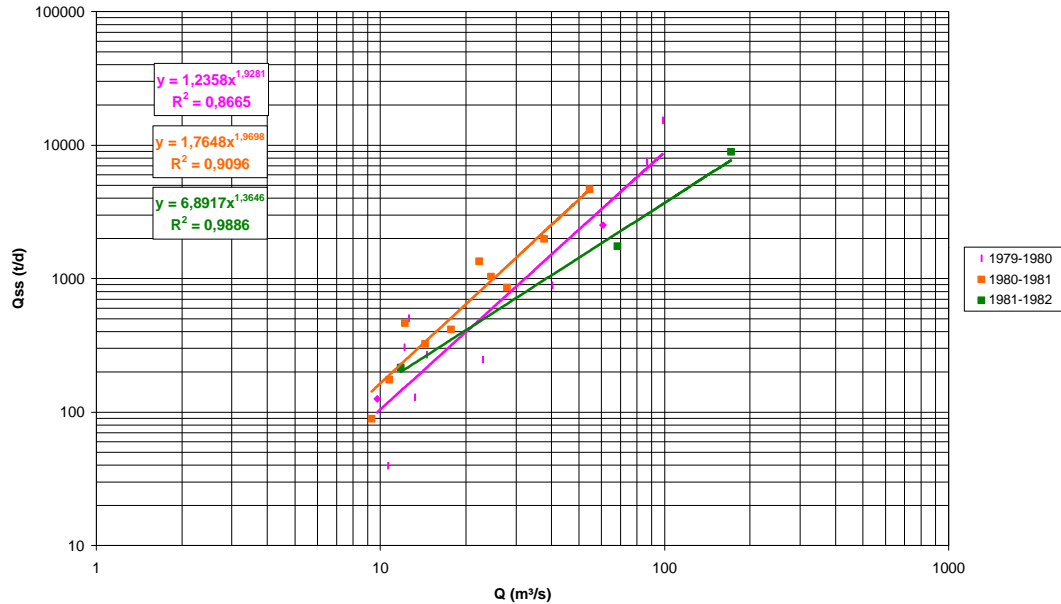


Figura 5.15. Curva-chave de sedimentos – Rio Jorigue em Pedra Preta.

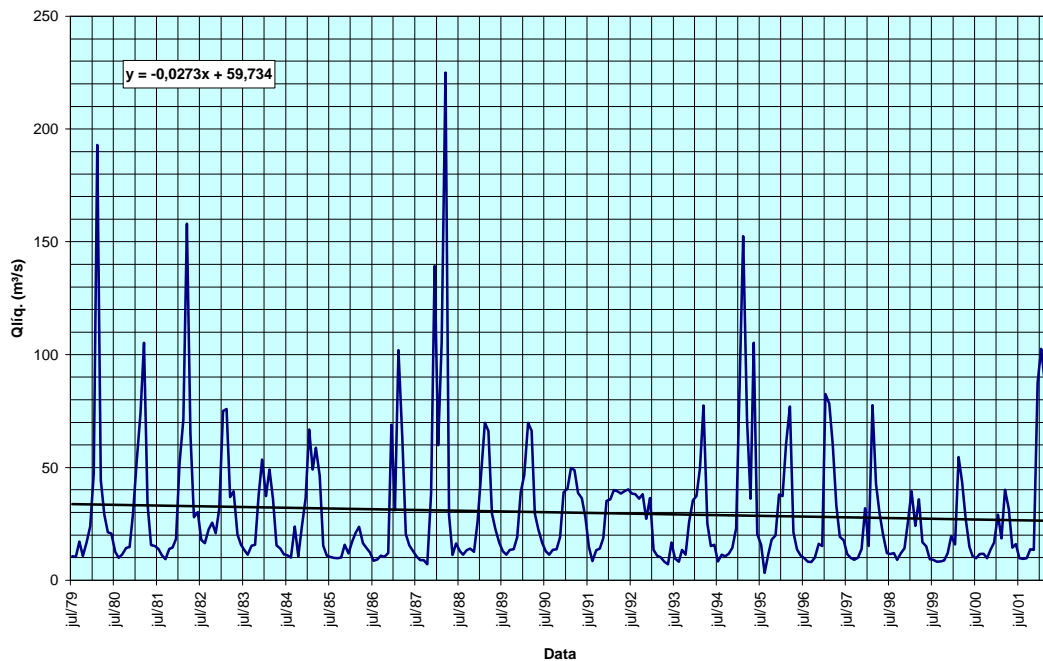


Figura 5.16. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Jorigue em Pedra Preta.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Jorigue em Pedra Preta tiveram tendência de redução no período de 1979 a 2001.

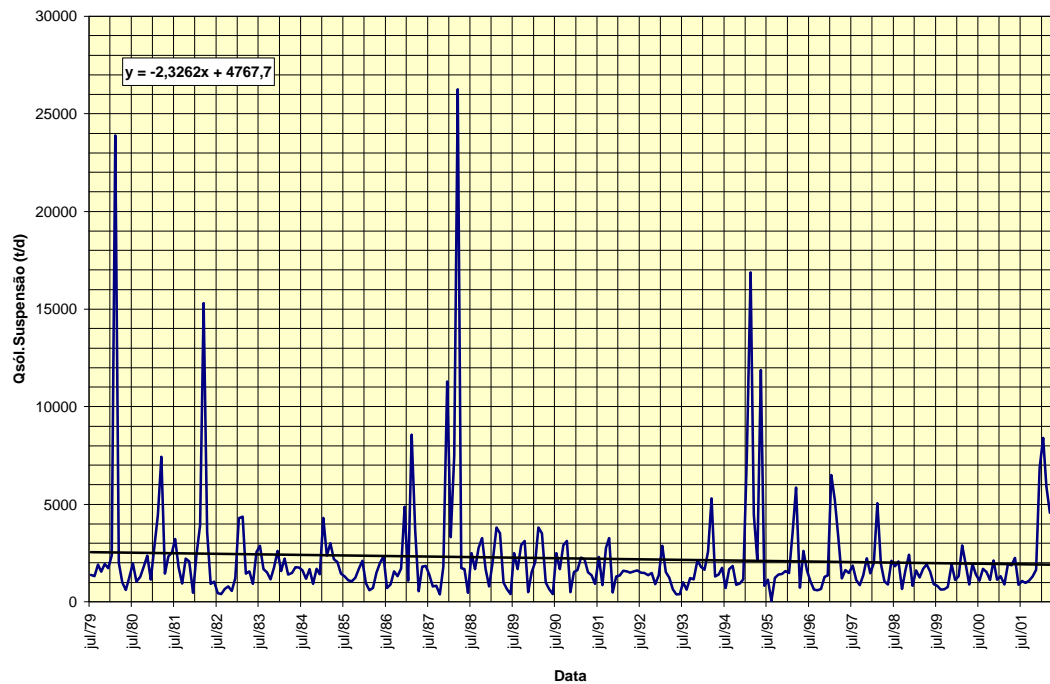


Figura 5.17. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Jorigue em Pedra Preta.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Jorigue em Pedra Preta tiveram tendência de redução no pequeno período de 1979 a 2001.

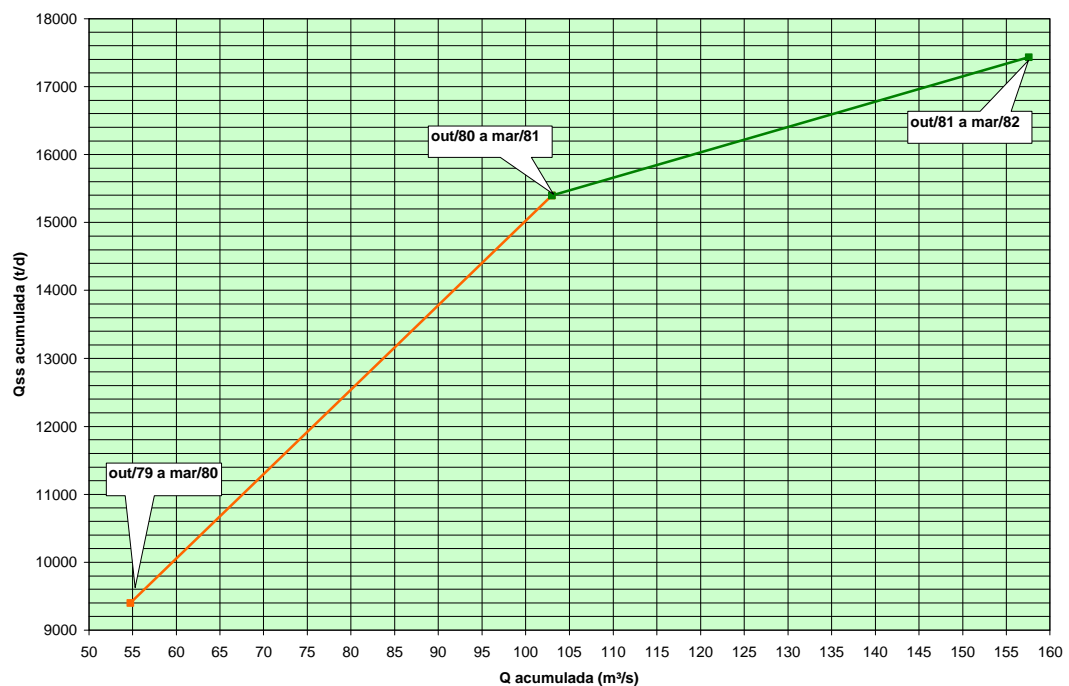


Figura 5.18. Curva de Massas – Rio Jorigue em Pedra Preta.

Os cálculos da taxa de aumento do transporte de sedimentos para o rio Jorigue em Pedra Preta resultaram em redução de 38,2% no período de 1979 a 1982 provavelmente pela redução das chuvas no período, menor uso do solo ou mesmo devido ao curto período de medições de descarga sólida.

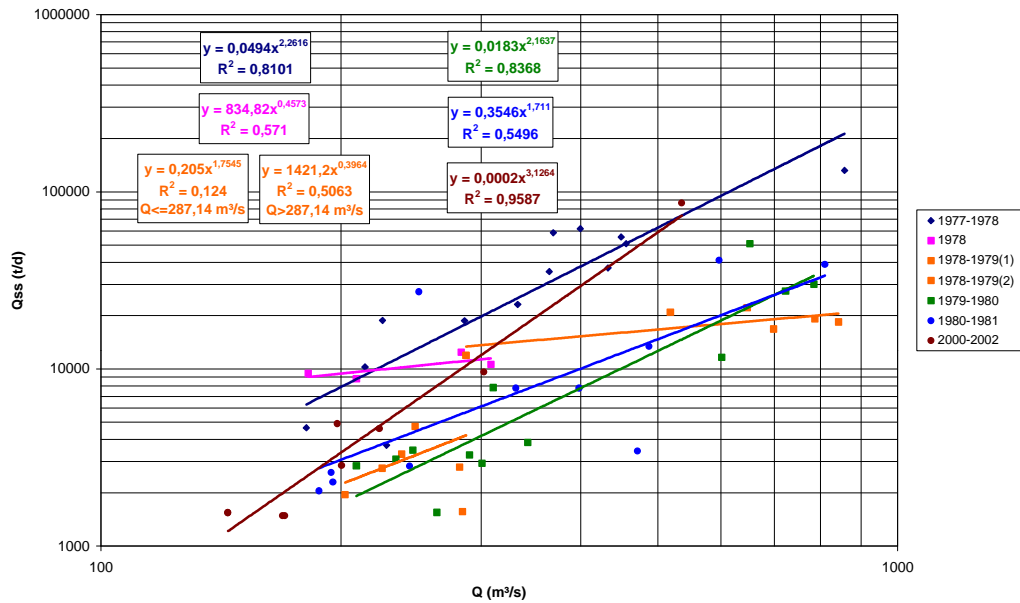


Figura 5.19. Curva-chave de sedimentos – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.

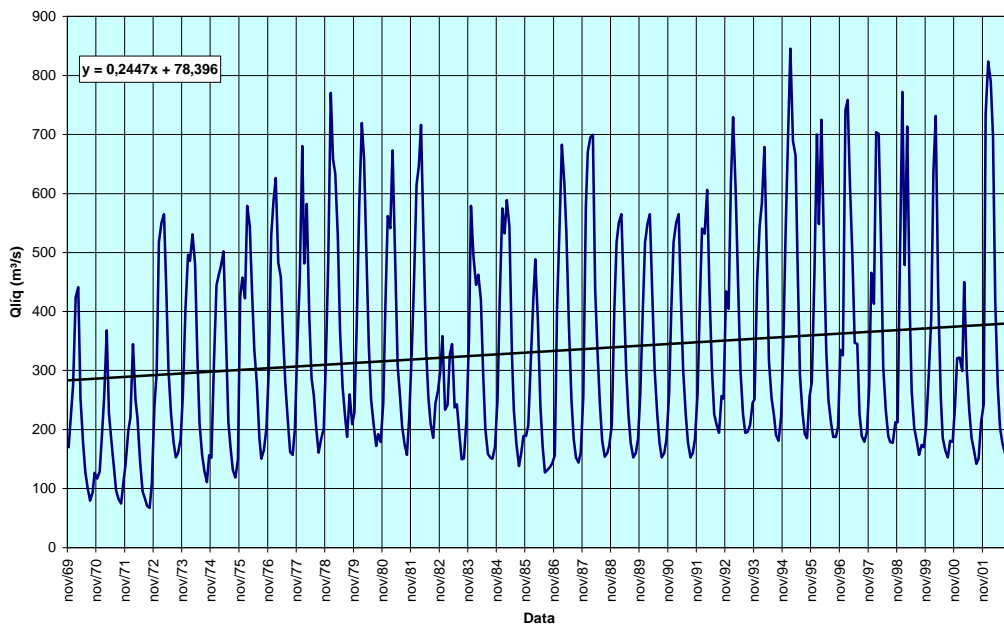


Figura 5.20. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio São Lourenço acima de Córrego Grande tiveram tendência de aumento no período de 1969 a 2001.

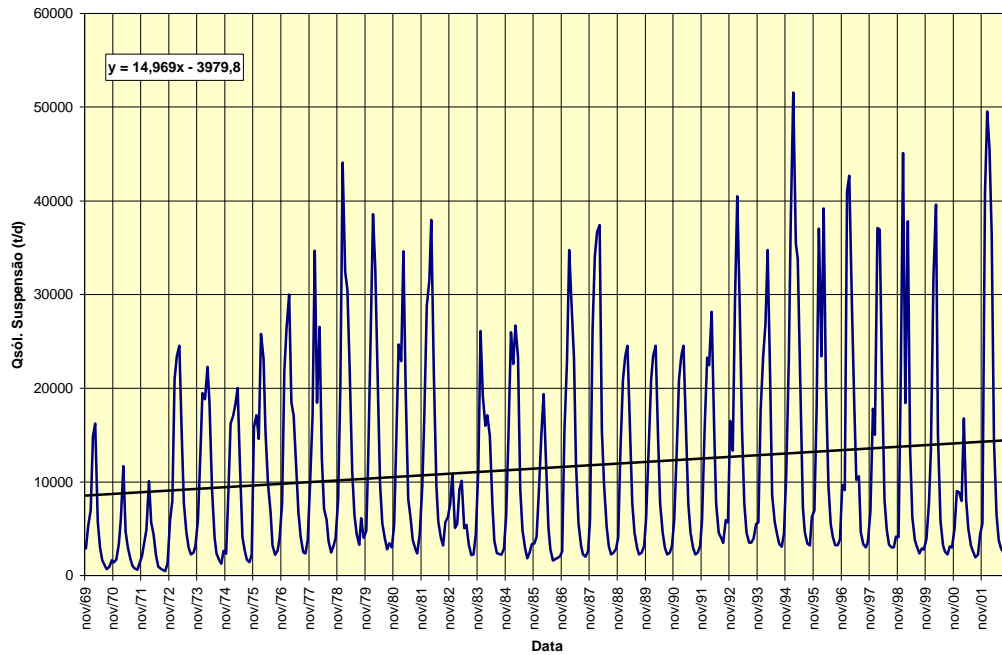


Figura 5.21. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio São Lourenço acima de Córrego Grande tiveram tendência de aumento entre 1969/2001.

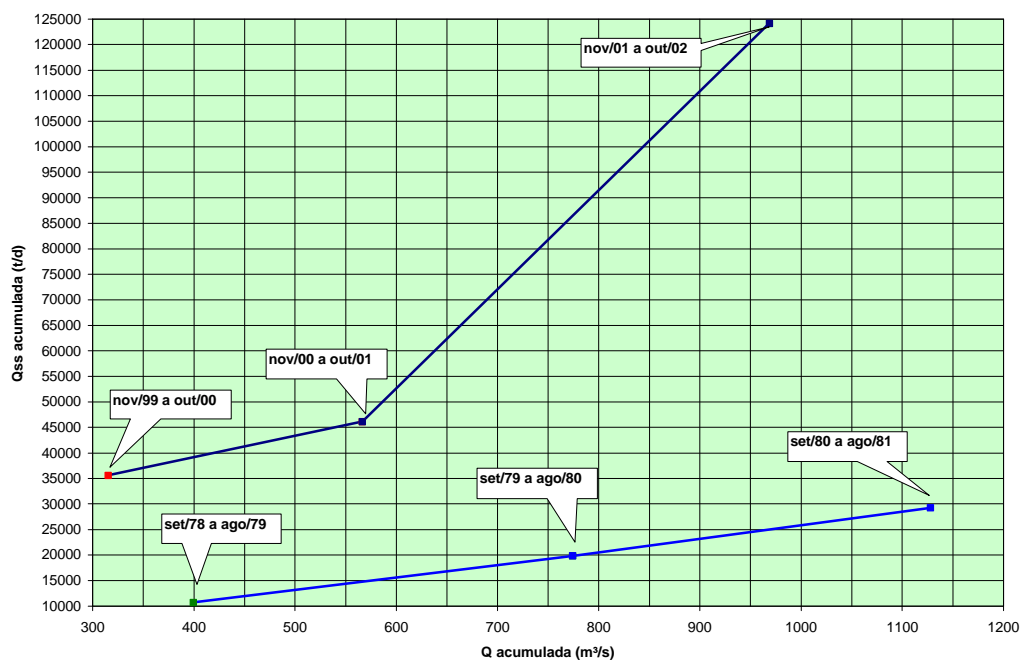


Figura 5.22. Curva de Massas – Rio São Lourenço acima de Córrego Grande.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimento para o rio São Lourenço acima de Córrego Grande foram de 3,0% a 66,8% de 1978 a 2002 com valor final de 9,0% de 1978 a 2002, provavelmente devido ao aumento do uso do solo na área contribuinte, apresentando altos valores de erosão, assunto que merece investigação.

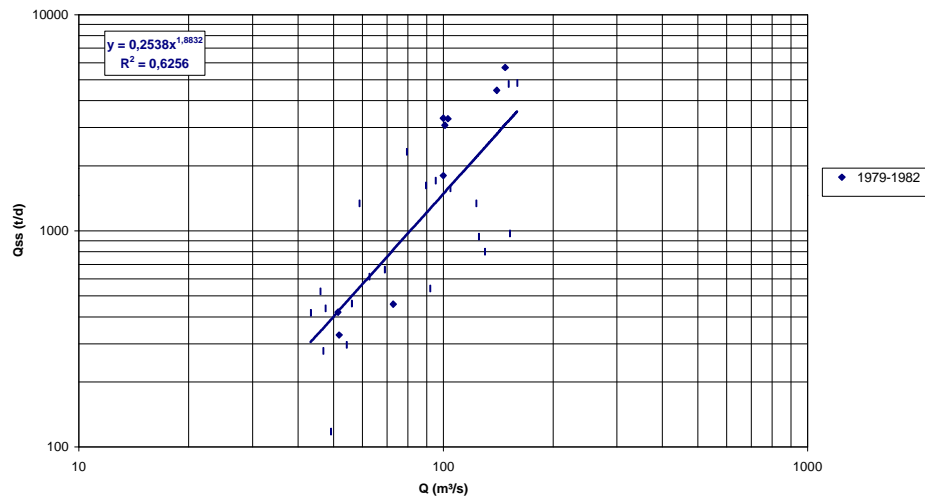


Figura 5.23. Curva-chave de sedimentos – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.

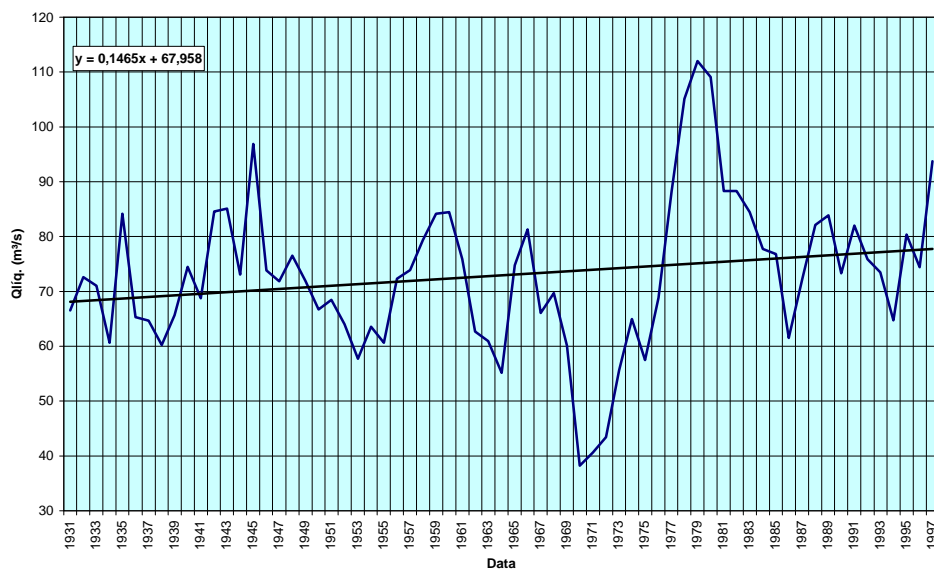


Figura 5.24. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Itiquira a montante da Estrada BR-163 tiveram tendência de aumento no período de 1931 a 1997.

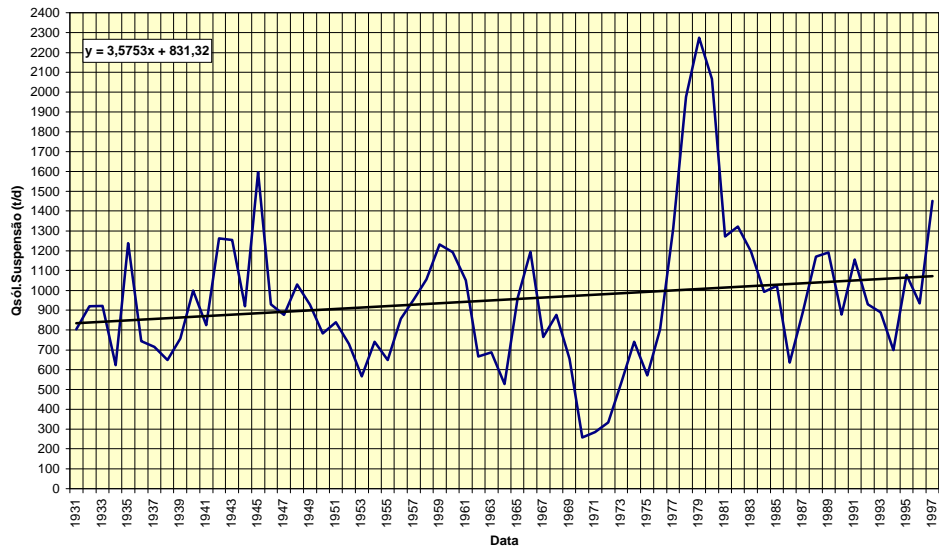


Figura 5.25. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas em suspensão do rio Itiquira a montante da Estrada BR-163 tiveram tendência de aumento no período de 1931 a 1997.

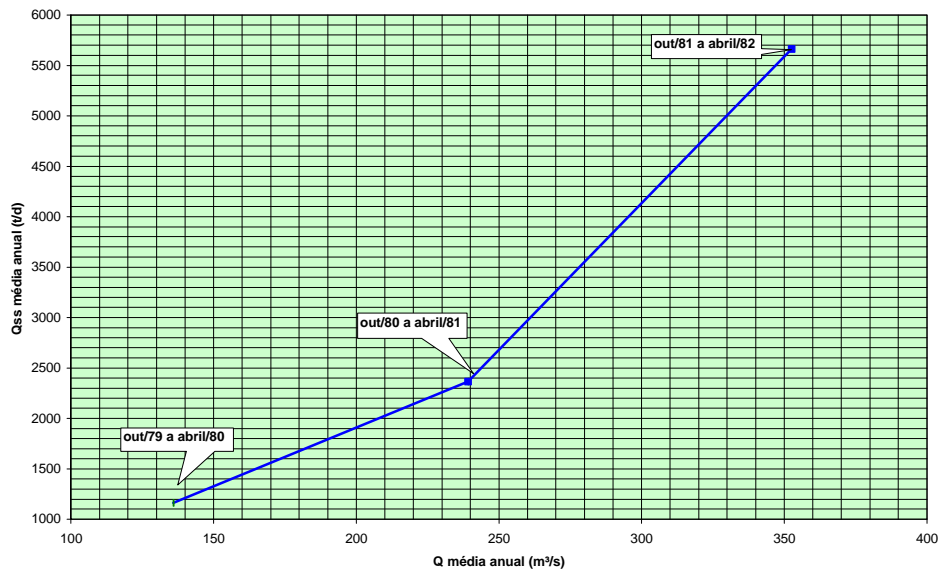


Figura 5.26. Curva de Massas – Rio Itiquira a Montante da Estrada BR-163.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Itiquira a montante da Estrada BR-163 resultaram em 35,8% de outubro/1979 a abril/1982, correspondendo a valor alto em pouco tempo, sendo devido ao aumento do uso do solo na região.

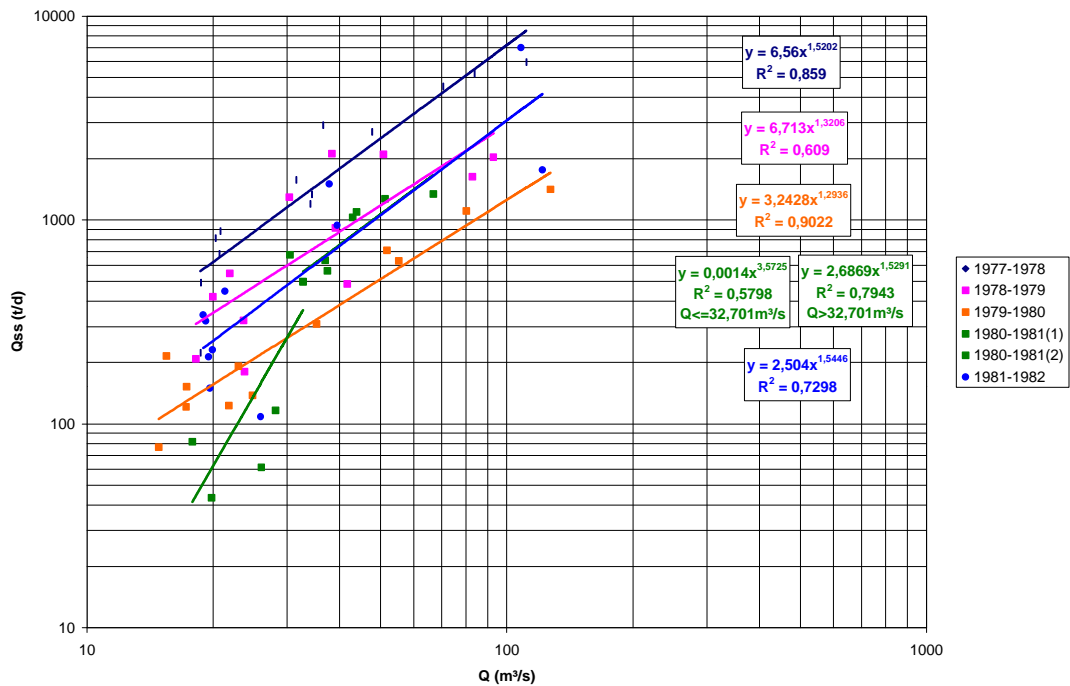


Figura 5.27. Curva-chave de sedimentos – Rio Piquiri em Estrada BR-163.

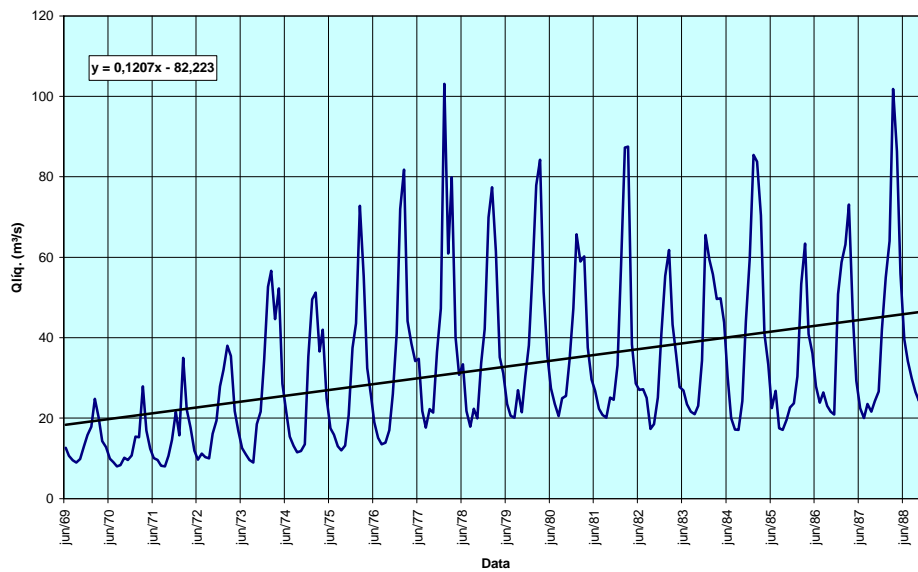


Figura 5.28. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Piquiri em Estrada BR-163.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Piquiri em Estrada BR-163 tiveram tendência de aumento no período de 1969 a 1988.

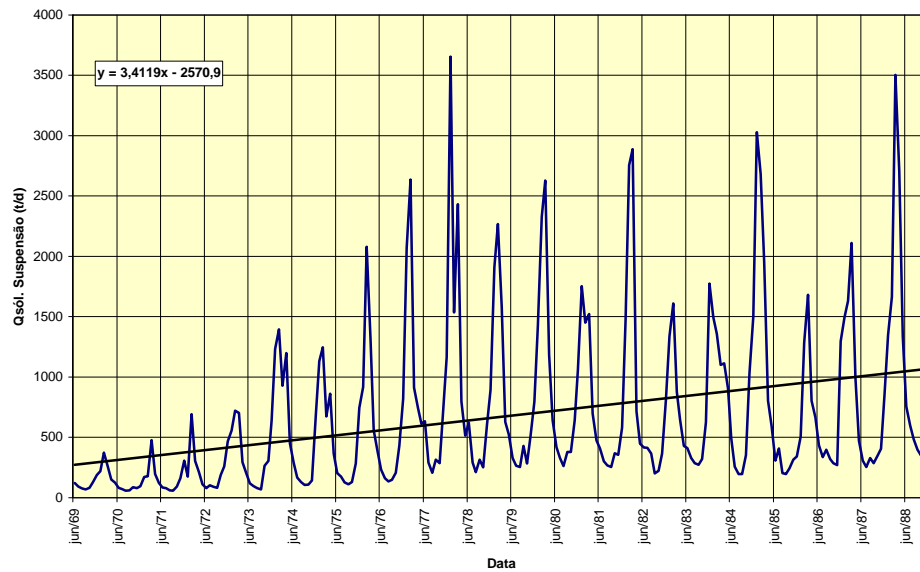


Figura 5.29. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Piquiri em Estrada BR-163.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Piquiri em Estrada BR-163 tiveram tendência de aumento no período de 1969 a 1988.

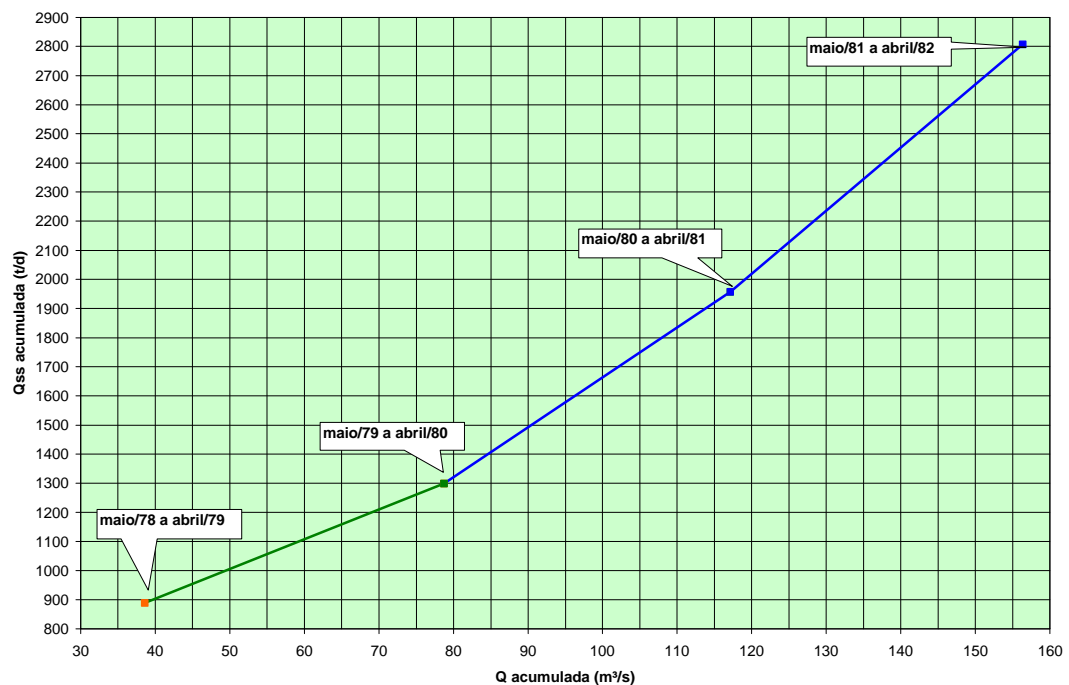


Figura 5.30. Curva de Massas – Rio Piquiri em Estrada BR-163.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Piquiri em Estrada BR-163 resultaram em 18,8% entre maio/1978 a abril/1981, passando a 8,1% de abril/1981 a abril/1982.

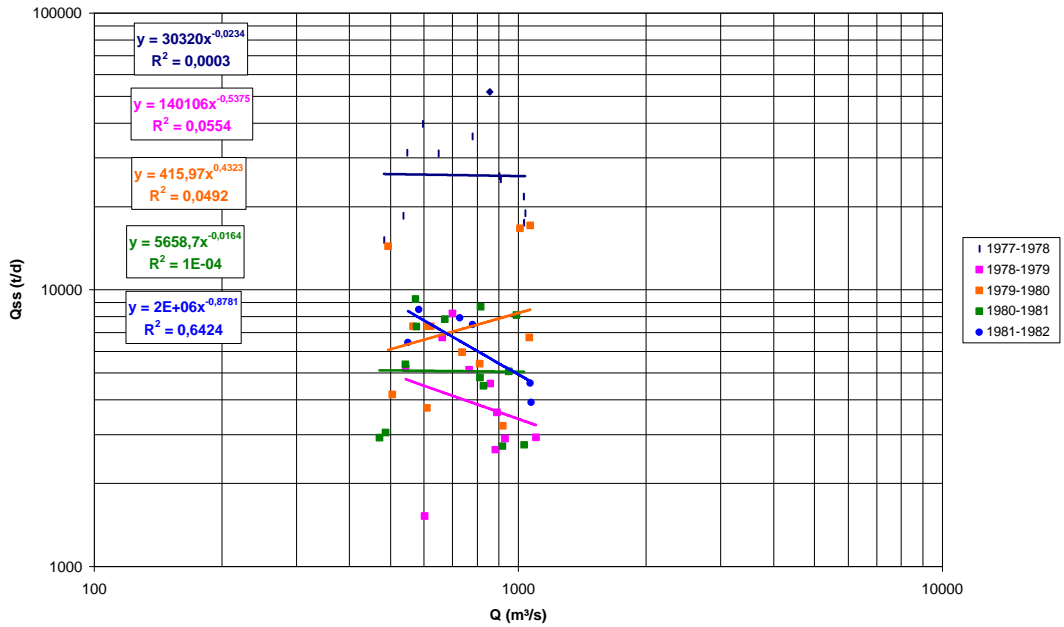


Figura 5.31. Curva-chave de sedimentos – Rio Cuiabá em Porto Alegre.

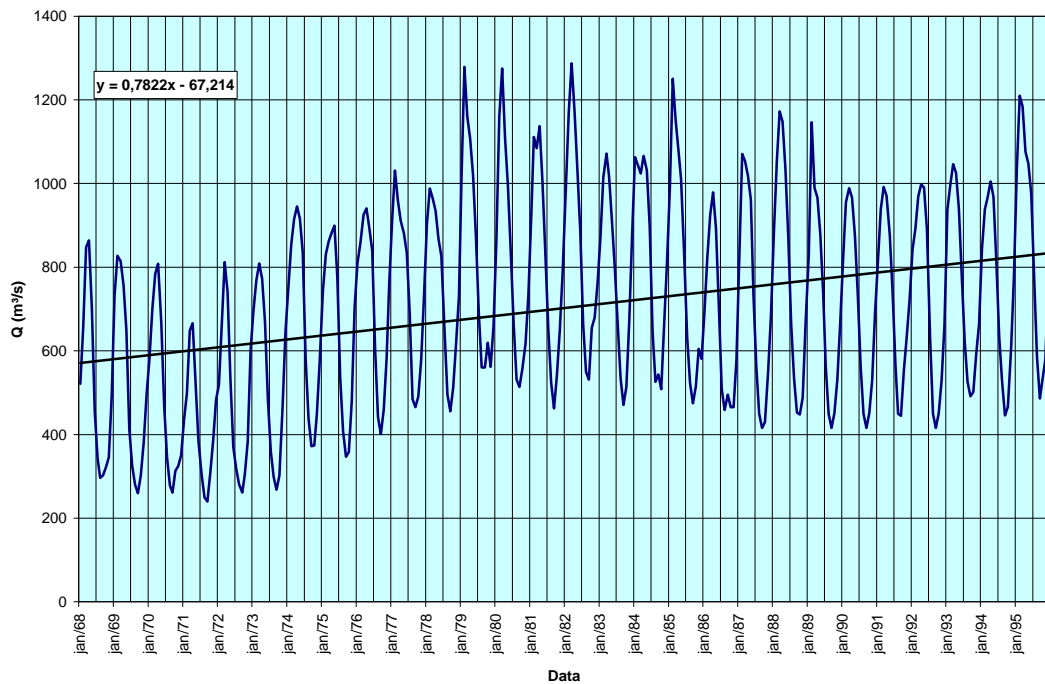


Figura 5.32. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Cuiabá em Porto Alegre.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Cuiabá em Porto Alegre tiveram tendência de aumento no período de 1968 a 1995

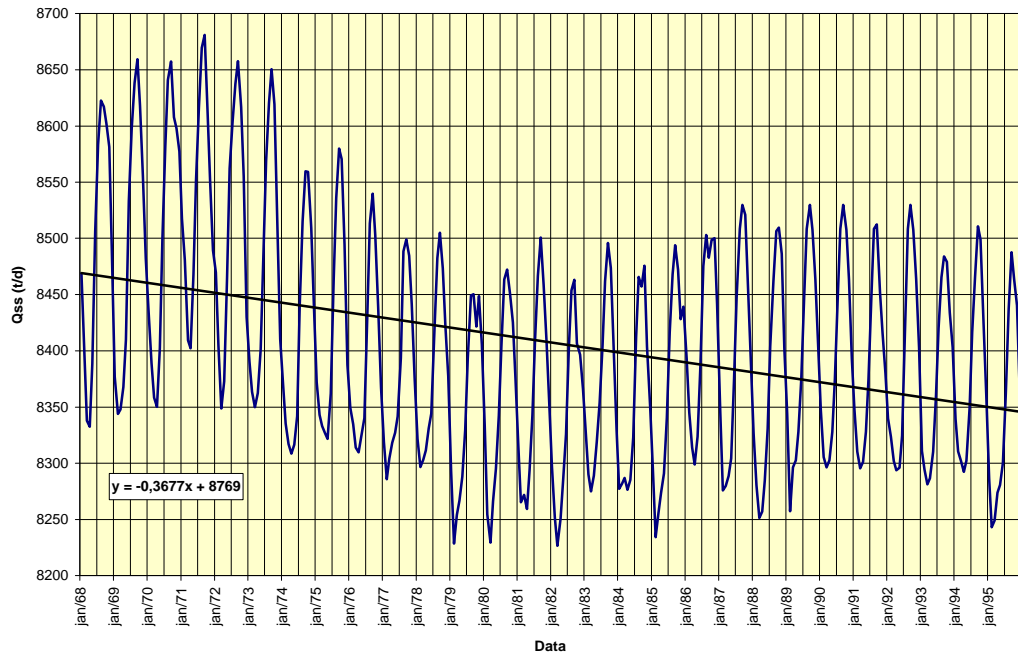


Figura 5.33. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Cuiabá em Porto Alegre.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Cuiabá em Porto Alegre tiveram tendência de redução no período de 1968 a 1995.

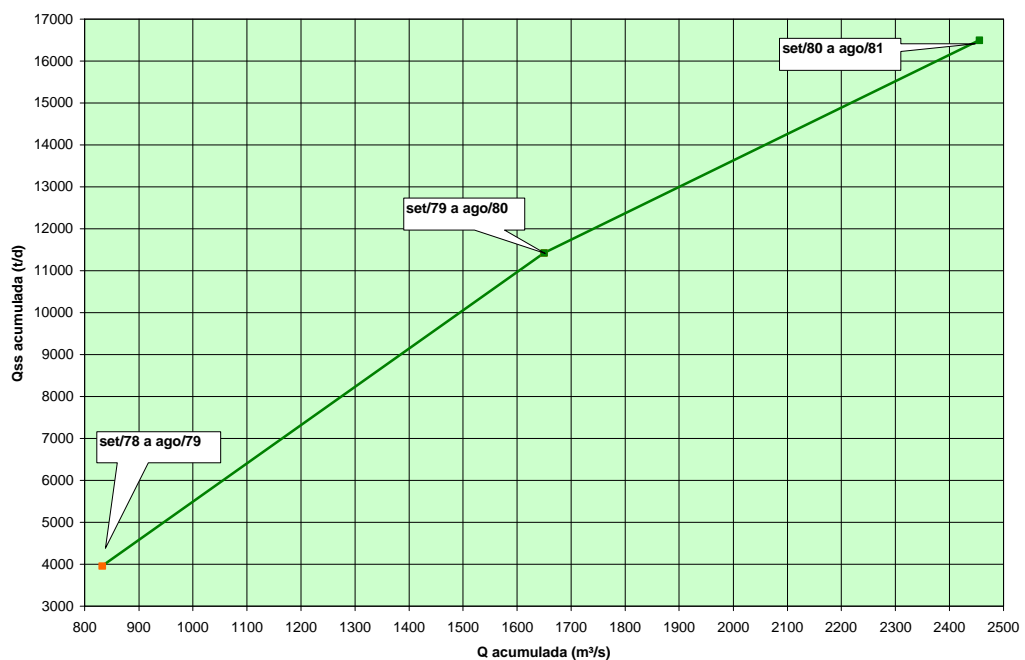


Figura 5.34. Curva de Massas – Rio Cuiabá em Porto Alegre.

Os cálculos das taxas de transporte de sedimento para o rio Cuiabá em Porto Alegre mostraram redução de 11,6% entre setembro/1978 a agosto/1981, o que deve ser devido aos depósitos de sedimento quando o curso d'água alcança o Pantanal, zona de sedimentação, uma vez que foi verificado aumento das taxas em postos de montante.

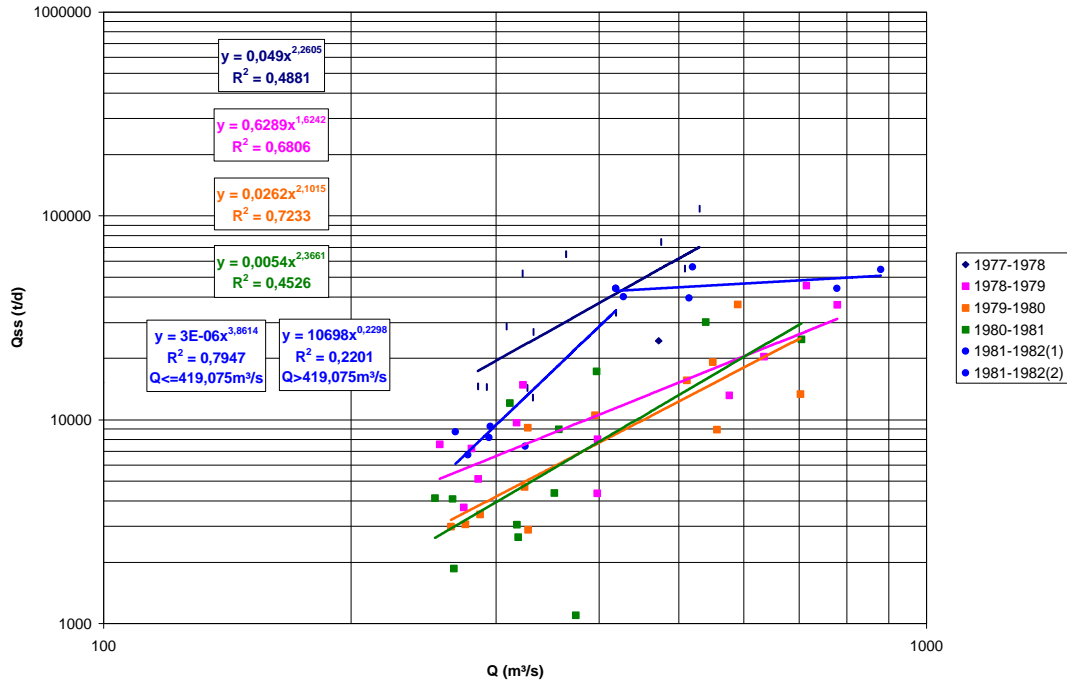


Figura 5.35. Curva-chave de sedimentos – Rio Taquari em Coxim.

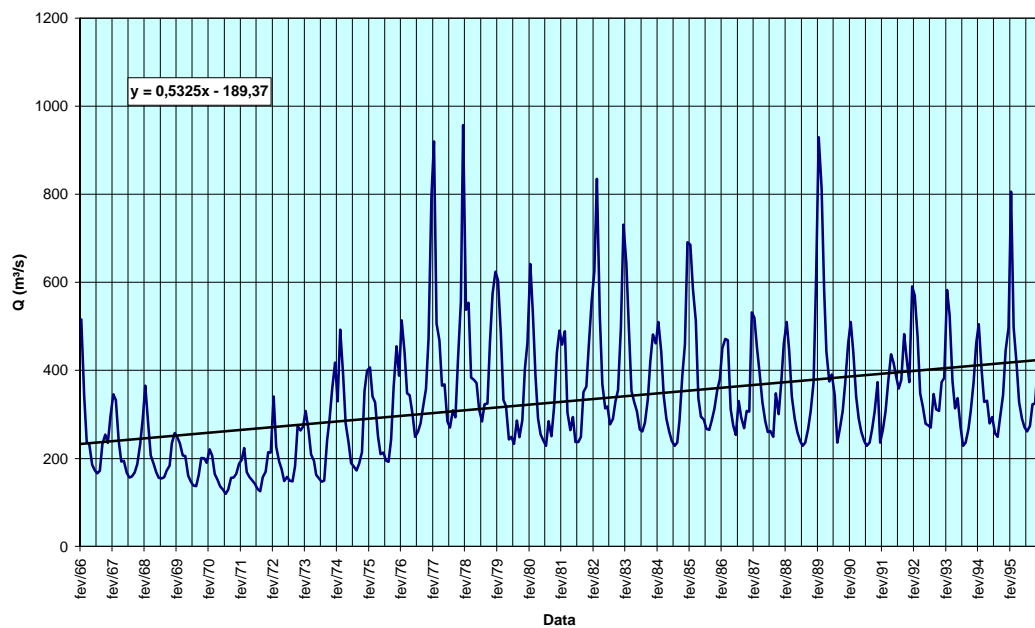


Figura 5.36. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Taquari em Coxim.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Taquari em Coxim tiveram tendência de aumento no período de 1966 a 1995.

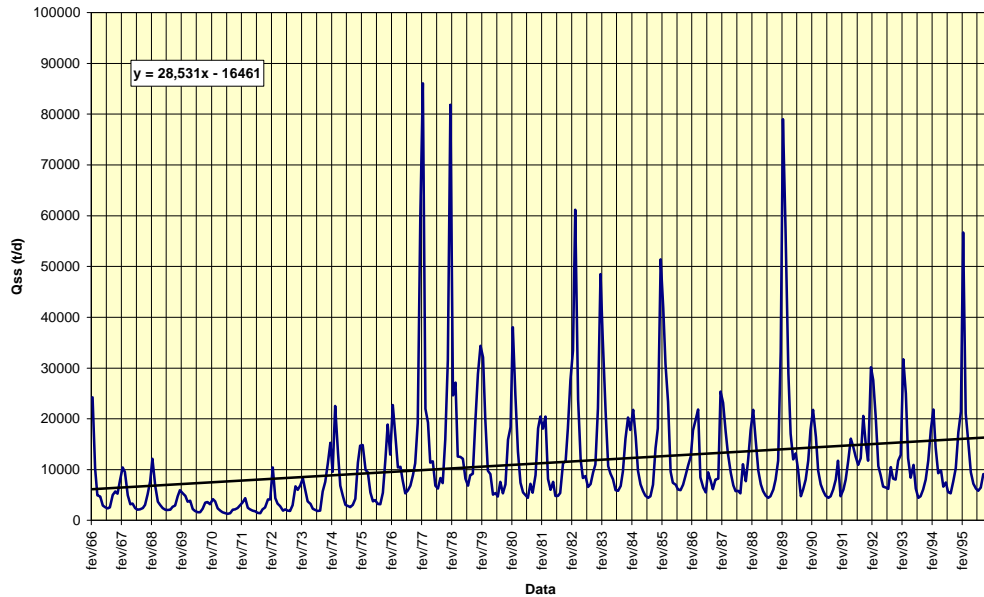


Figura 5.37. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Taquari em Coxim.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Taquari em Coxim tiveram tendência de aumento no período de 1966 a 1995.

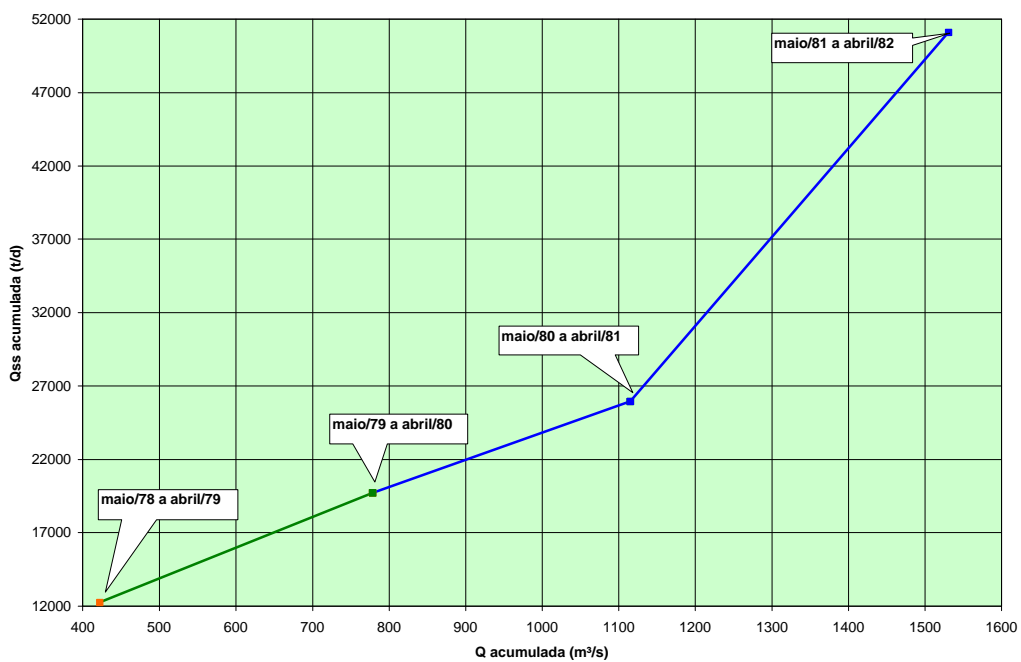


Figura 5.38. Curva de Massas – Rio Taquari em Coxim.

Os cálculos das taxas de aumento de transporte de sedimentos para o rio Taquari em Coxim resultaram em redução de 4,0% entre maio/78 a abril/1980 e um aumento brusco de 48,4% de abril/1980 a abril/1982, configurando forte erosão na bacia contribuinte. Lembrar que o Taquari forma um leque aluvial provocado por sedimentação principalmente de areias e que os desmatamentos são altamente danosos.

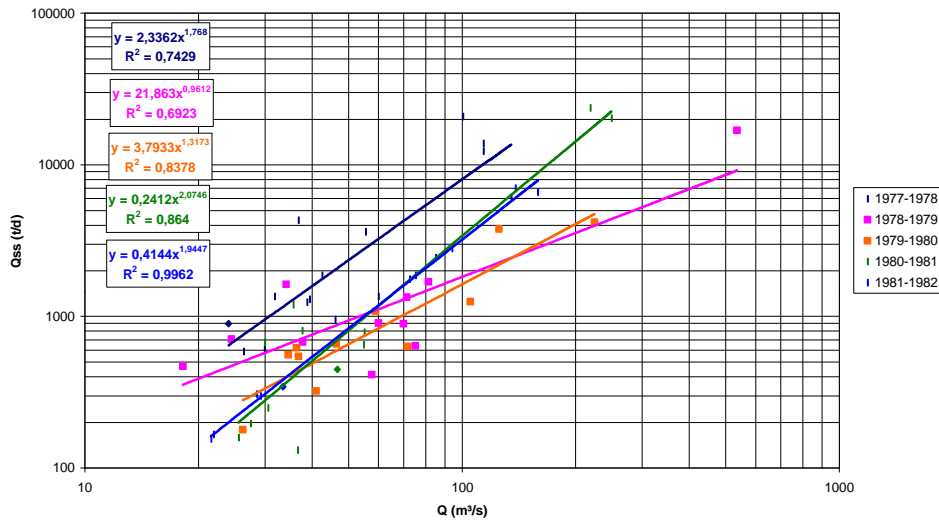


Figura 5.39. Curva-chave de sedimentos – Rio Miranda em Estrada MT-738.

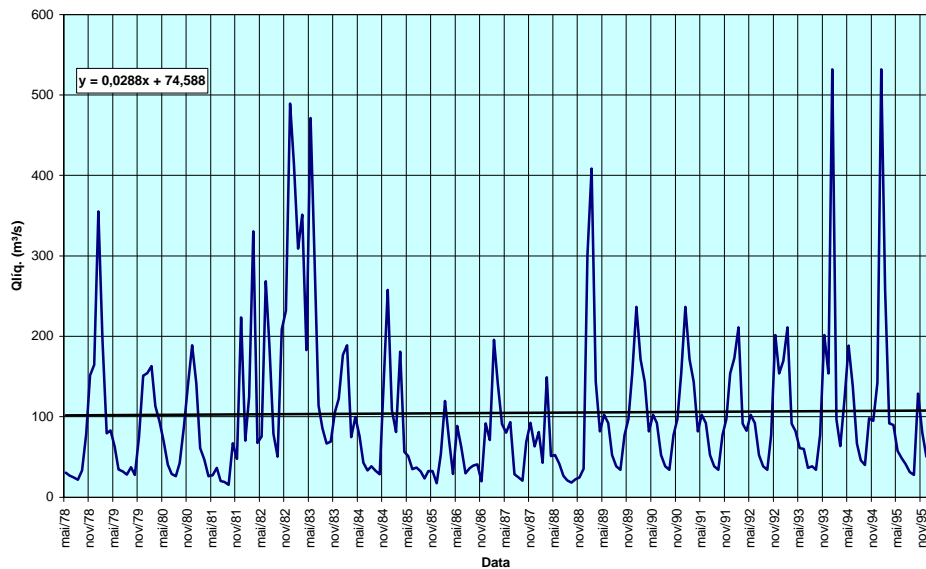


Figura 5.40. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Miranda em Estrada MT-738.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Miranda em Estrada MT-738 (Antiga) tiveram leve tendência de aumento no período de 1978 a 1995.

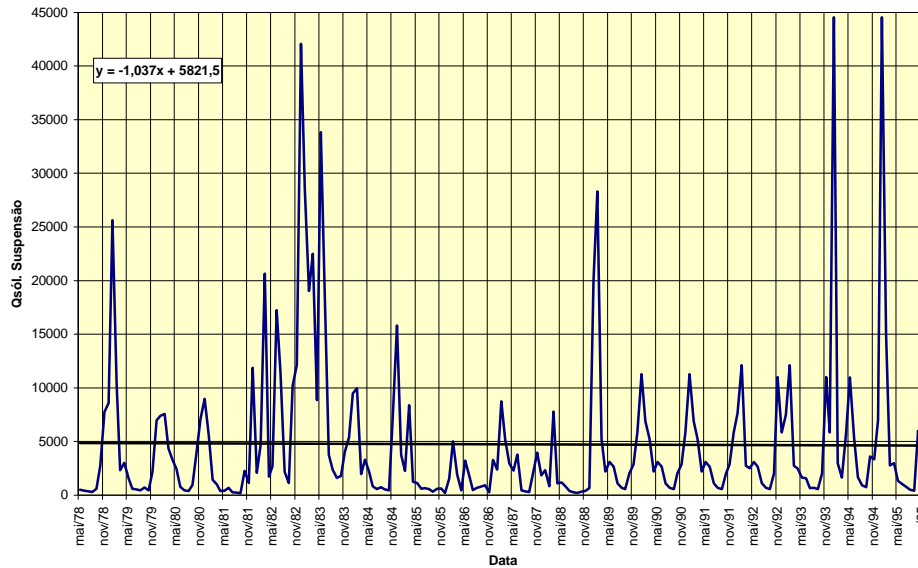


Figura 5.41. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Miranda em Estrada MT-738.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Miranda em Estrada MT-738 (Antiga) tiveram leve tendência de redução no período de 1978 a 1995.

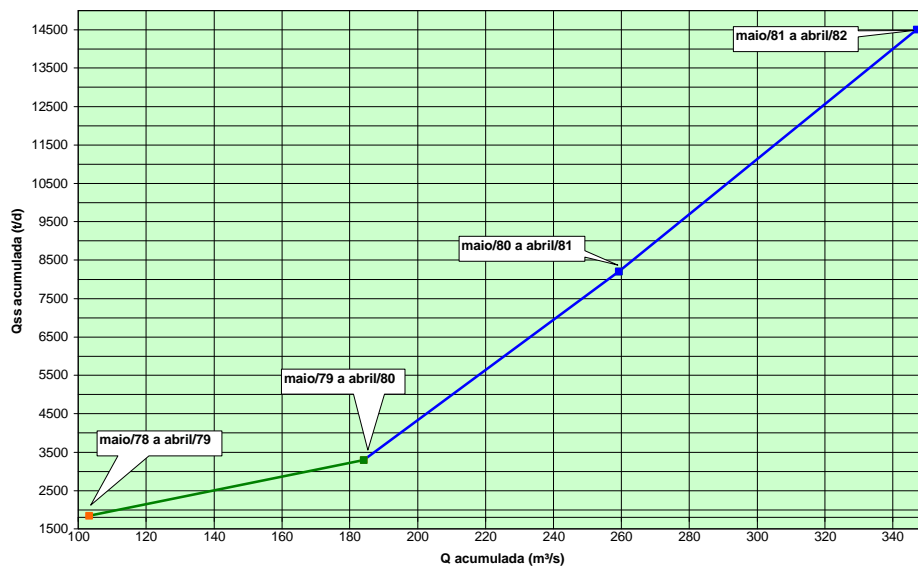


Figura 5.42. Curva de Massas – Rio Miranda em Estrada MT-738.

Os cálculos das taxas de aumento anual do transporte de sedimentos para o rio Miranda em Estrada MT-738 (antiga) resultaram em valor inicial alto de 53,5% de maio/1978 a abril/1980,

passando a 3,3% de abril/1980 a abril/1982, resultando em taxa média anual de 41,3%. Este valor é alto, indicando erosão na bacia, provavelmente devido ao aumento do uso do solo.

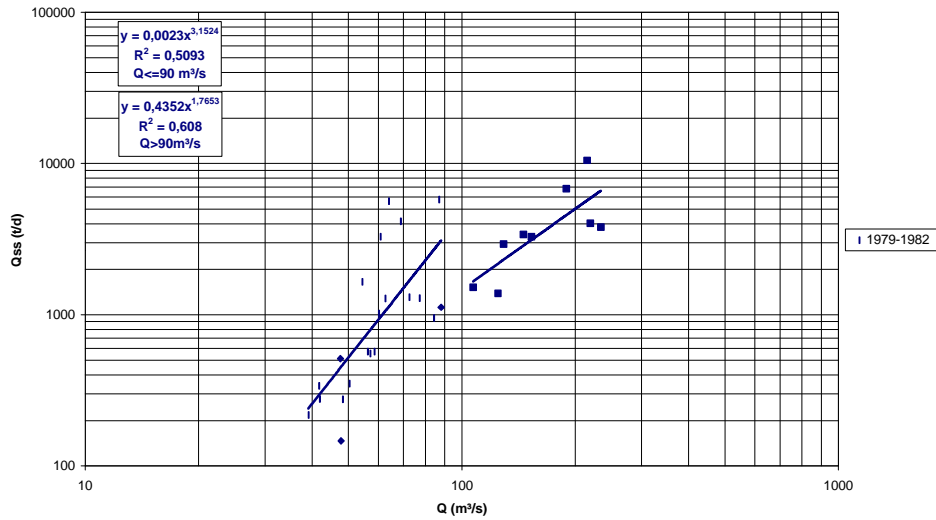


Figura 5.43. Curva-chave de sedimentos – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.

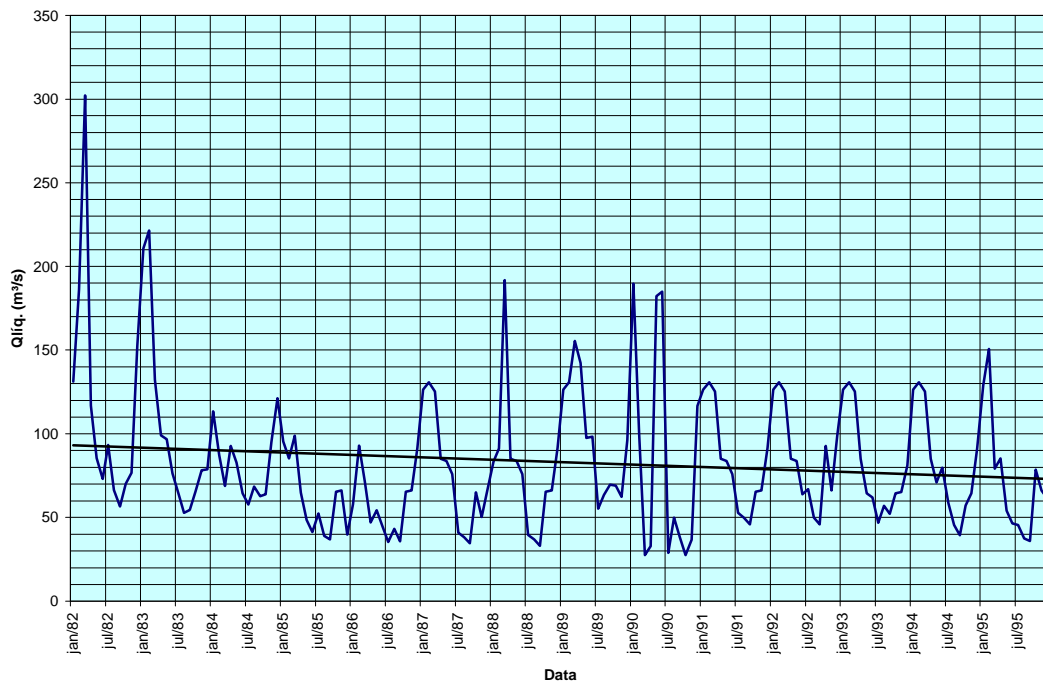


Figura 5.44. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias do rio Aquidauana em Ponte do Grego tiveram tendência de redução no pequeno período de 1982 a 1995.

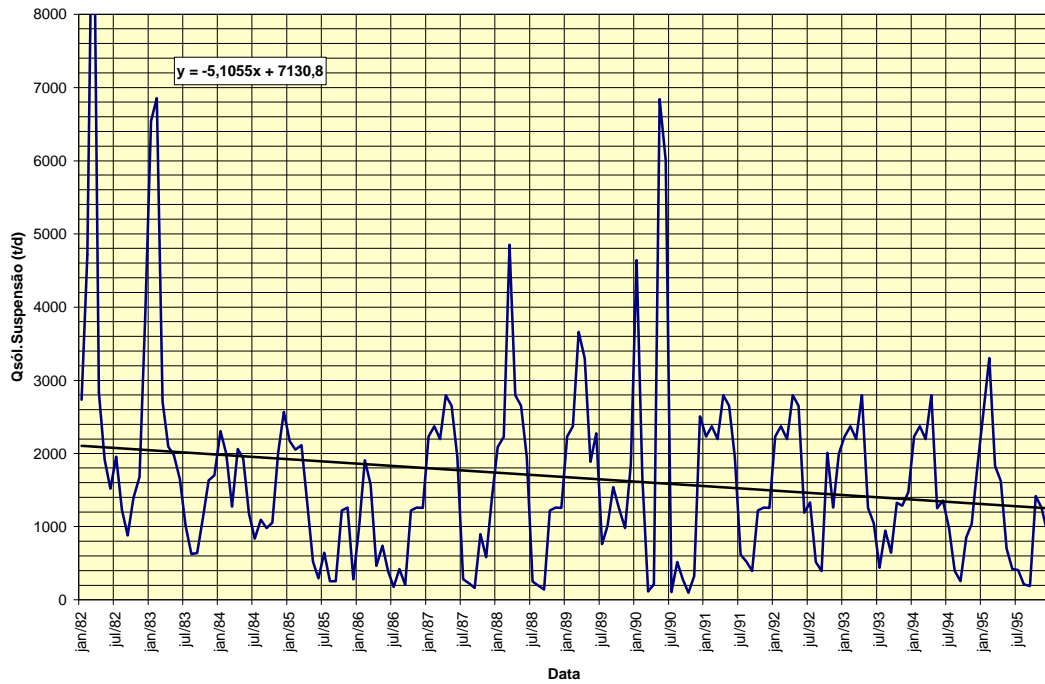


Figura 5.45. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Aquidauana em Ponte do Grego.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Aquidauana em Ponte do Grego tiveram tendência de redução no pequeno período de 1982 a 1995.

Por falta da série de vazões naturais no banco de dados *Hidroweb* para esse posto, não foi preparada a curva de massa.

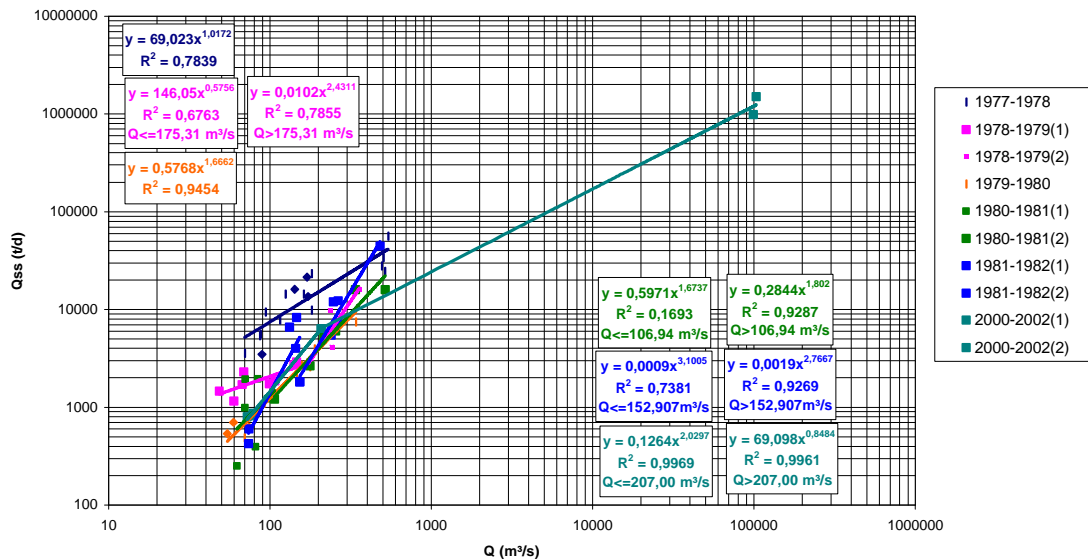


Figura 5.46. Curva-chave de sedimentos – Rio Aquidauana em Aquidauana.

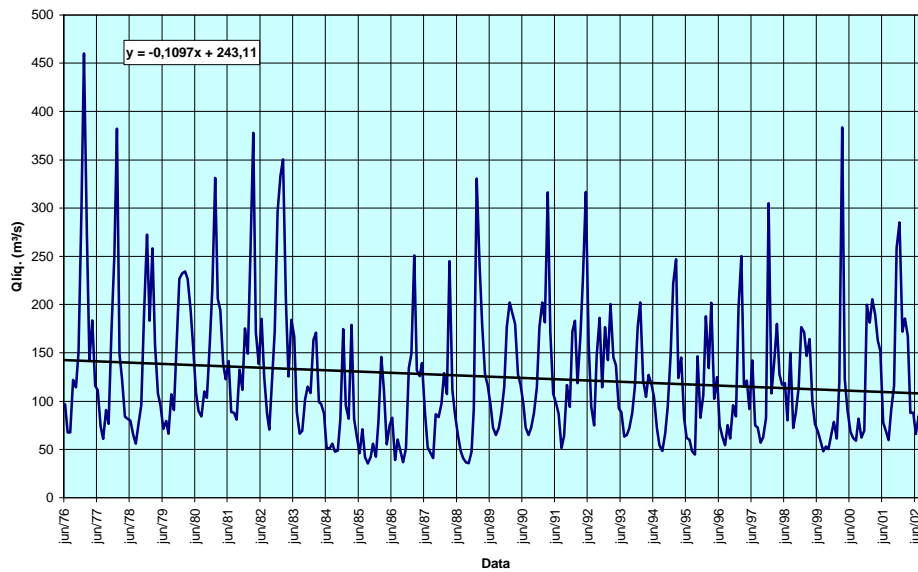


Figura 5.47. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Aquidauana em Aquidauana.

Pelo exame da curva acima se vê que as vazões médias no rio Aquidauana em Aquidauana tiveram tendência de redução no período de 1976 a 2002.

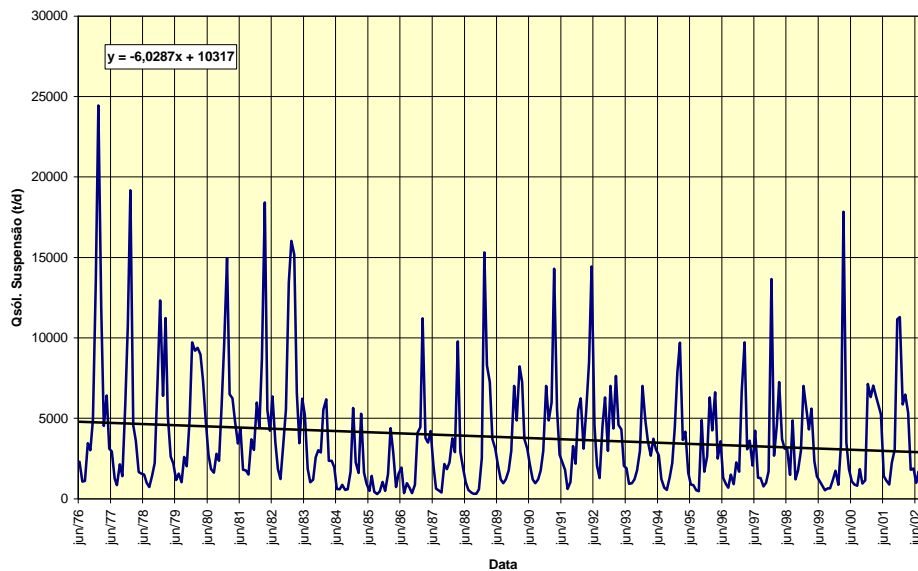


Figura 5.48. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Aquidauana em Aquidauana.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Aquidauana em Aquidauana tiveram tendência de redução no período de 1976 a 2002.

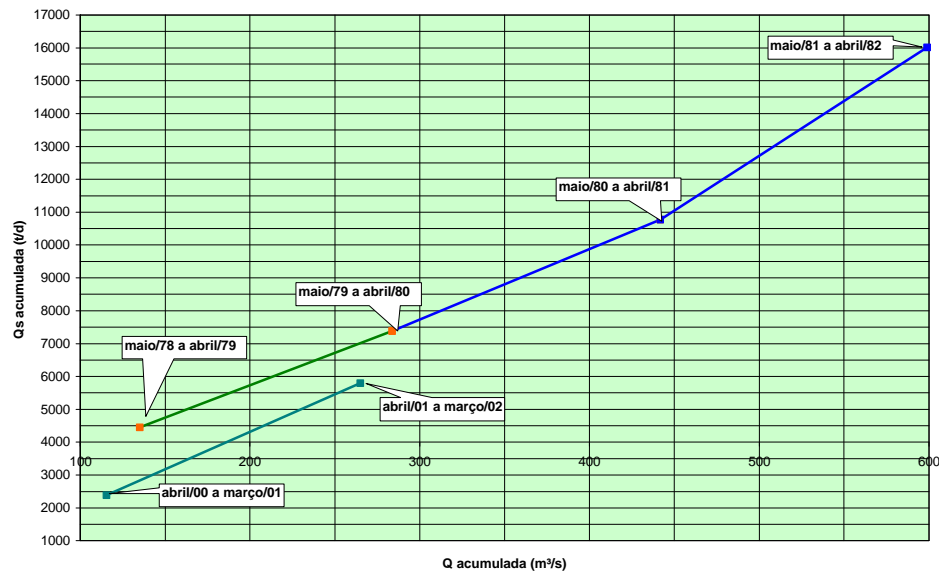


Figura 5.49. Curva de Massas – Rio Aquidauana em Aquidauana.

Os cálculos das taxas de aumento do transporte de sedimentos para o rio Aquidauana em Aquidauana resultaram em 2,7% de maio/78 a abril/81, passando a 16,0% até abril/1982, 14,1% até março/2001 e reduzindo de 3,2% até março/2002. Poderia ter sido maior caso as vazões tivessem aumentado no período. Assim mesmo pode-se considerar que houve erosão na bacia a montante, o que pode ser devido a aumento da agricultura na região.

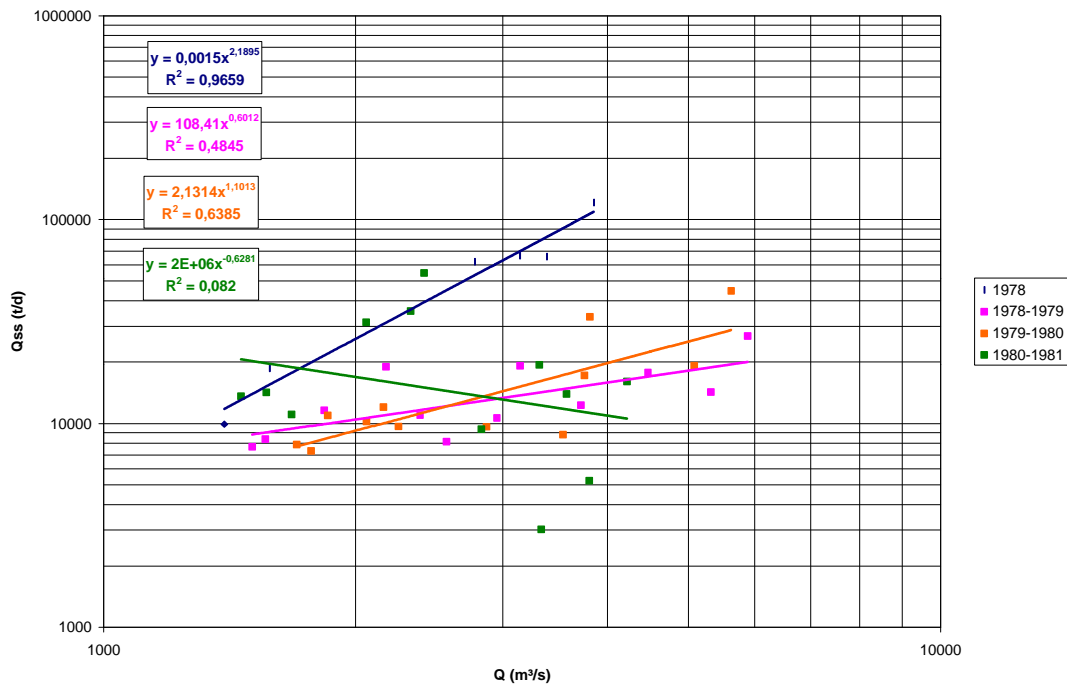


Figura 5.50. Curva-chave de sedimentos – Rio Paraguai em Porto Esperança.

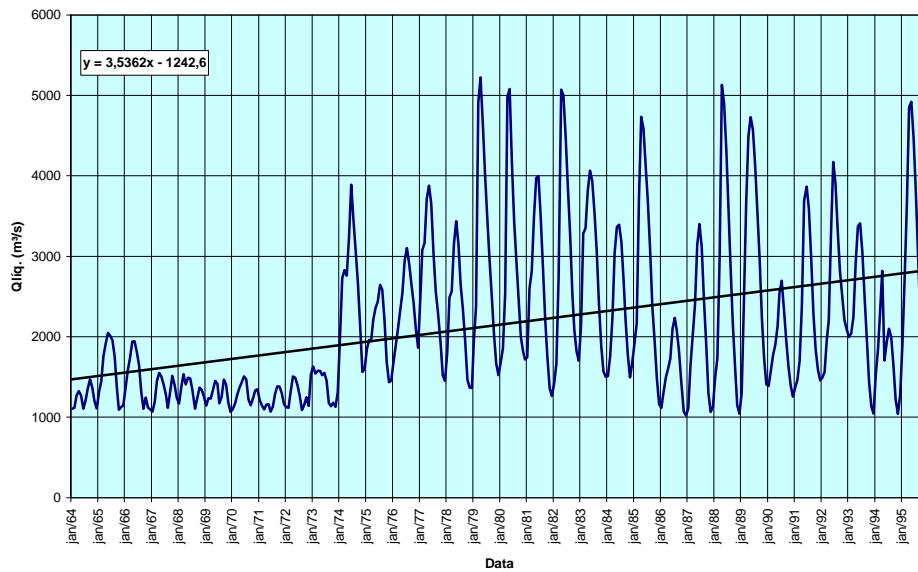


Figura 5.51. Gráfico da Descarga Líquida pelo Tempo – Rio Paraguai em Porto Esperança.

Pelo exame da curva acima se nota um período seco inicial, até 1974, seguido de anos de cheias; as vazões médias do rio Paraguai em Porto Esperança tiveram tendência de aumento no período de 1964 a 1995.

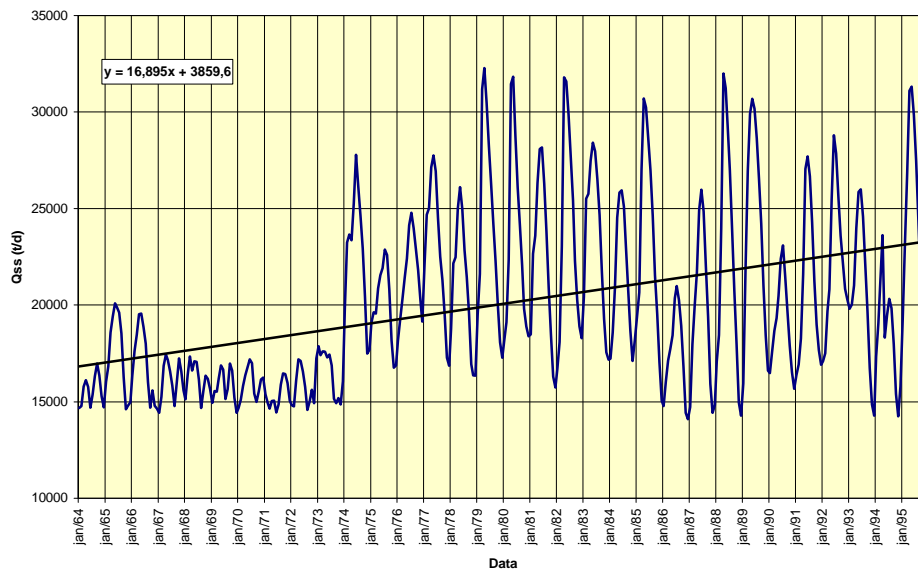


Figura 5.52. Gráfico da Descarga Sólida em Suspensão pelo Tempo – Rio Paraguai em Porto Esperança.

A análise do gráfico mostra que as descargas sólidas médias em suspensão do rio Paraguai em Porto Esperança tiveram tendência de aumento no período de 1964 a 1995, certamente acentuado a partir das cheias de 1975 para os anos seguintes.

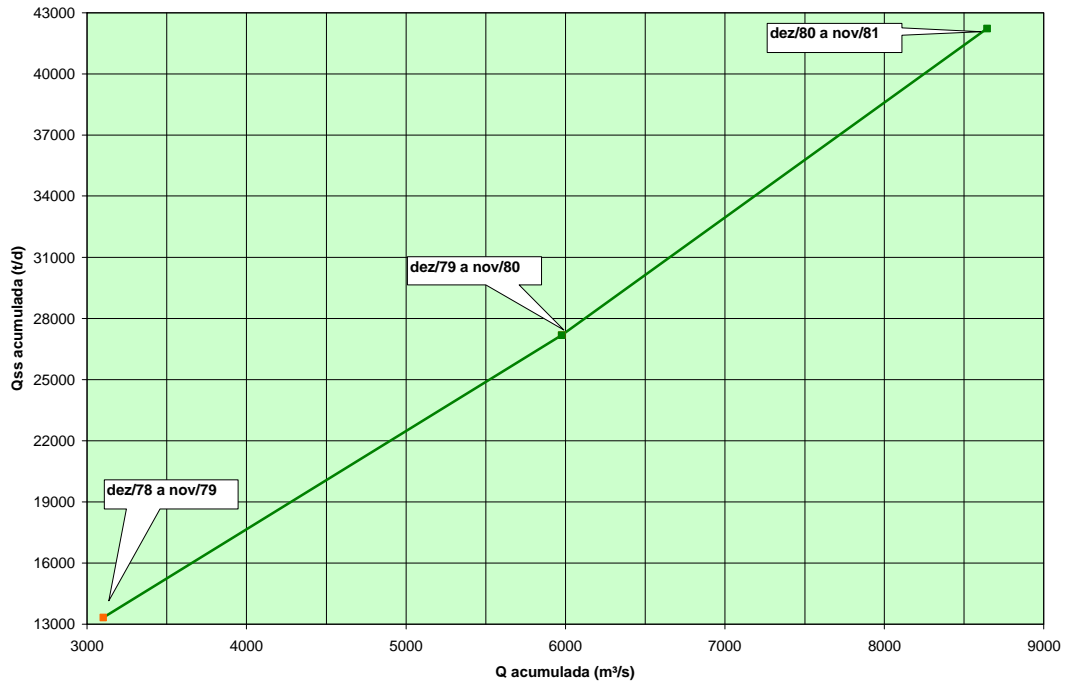


Figura 5.53. Curva de Massas – Rio Paraguai em Porto Esperança.

Os cálculos da taxa anual de variação do transporte de sedimento para o rio Paraguai em Porto Esperança resultaram em aumento de 5,33% de 1978 a 1981. Este posto fica no Pantanal sendo esperado menor valor desde que o sedimento vai se depositando ao longo do curso d'água a montante. Provavelmente a proximidade do rio Taquari, com grande transporte de sedimento, esteja influenciando.

5.4.3. Comparação dos estudos

Pelo exame geral dos gráficos de vazões médias vê-se que houve aumento da vazão no período considerado para quase todos os postos, com exceção de Jorigue/Pedra Preta e Aquidauana/Ponte do Grego, cujos períodos de observação foram pequenos. Também ocorreu aumento de vazão em Aquidauana/Aquidauana, enquanto que Miranda/Estrada MT-738 houve tendência de pequeno aumento. Nessa sub-bacia do Miranda/Aquidauana provavelmente houve menor quantidade de chuva no período do que nas outras sub-bacias da BAP.

Pode-se atribuir o aumento da vazão a diversas causas como sejam anos mais chuvosos no período ou a questão da variabilidade climática.

O exame dos gráficos de descarga sólida também mostrou um aumento da carga sólida em quase todos os postos, com exceção de Jorigue/Pedra Preta e Aquidauana/Ponte do Grego cujos períodos de observação foram pequenos. Também ocorreu redução da descarga sólida nos rios Miranda e Aquidauana, atribuindo-se isto a menor uso do solo e menor quantidade de chuvas nessas bacias.

O exame das curvas de massa mostrou aumento das taxas de transporte de sedimentos em quase todos os postos, com exceção de Jorigue/Pedra Preta que tem pequeno período de observação, não tendo apresentado resultado coerente com os demais. Também ocorreu em Cuiabá/Porto Alegre cujo local está situado no Pantanal, área de baixíssima declividade, produzindo os depósitos de sedimento ao longo do curso d'água. Para Aquidauana em Ponte do Grego não foi possível preparar a curva de massa por falta de dados.

As taxas de aumento de transporte de sedimento nos diversos períodos estudados estão apresentadas na Tabela 5.25.

Um resumo do comportamento de aumento ou redução das vazões, das descargas em suspensão e das taxas de transporte de sedimento está apresentado na Tabela 5.27.

5.4.4. Avaliação do volume de sedimento depositado no Pantanal recentemente

De acordo com a Tabela 5.25, considerando Porto Esperança como o exutório da bacia, no lugar de Porto Murtinho que não se tem dados sedimentométricos com maior período de observação, verifica-se que o volume de sedimentos gerado na parte alta nos últimos 25 anos (1978-2002) fica depositado no Pantanal a montante, com um total aproximado de 58%, passando 42% para jusante.

O deflúvio em suspensão de $17,36 \times 10^6 \text{t.ano}^{-1}$, gerado numa área de 151.130km^2 (postos considerados na bacia brasileira, no Planalto), pode corresponder a um deflúvio sólido total de $20,837 \times 10^6 \text{t.ano}^{-1}$, tendo sido acrescentado 20% para a descarga de material de fundo ($Q_{st}=1,20 \times 17,36 \times 10^6=20,837 \times 10^6 \text{t.ano}^{-1}$).

Esse total corresponde a um volume de sedimento de $13,891 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, cujo valor foi calculado pela divisão com o peso específico aparente adotado como $1,5 \text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ($S_t = 20,837 \times 10^6 / 1,5 = 13,891 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$).

Tabela 5.27. Resumo da análise dos gráficos de vazão, descarga sólida e curva de massa.

Rio – Local	Vazões (m^3/s)	Desc. Sól. (t/dia)	Período	Aumento Desc.Sól.		Observação
				Ten- dência	Taxa %	
Paraguai em Cáceres	↑	↑	1966-02	↑	1,09*	1978-03 Maior erosão de 1978 a 1981
Manso em Porto de Cima	↑	↑	1931-95	↑	1,09	1978-82 Maior erosão de 1980 a 1982
Cuiabá em Cuiabá	↑	↑	1962-02	↑	0,86*	1978-02 Maior erosão de 1999 a 2002
Jorigue em Pedra Preta	↓	↓	1979-01	↓	-38,2	1979-82 Pequeno período de observação
São Lourenço acima Córrego Grande	↑	↑	1969-01	↑	9,05*	1978-02 Maior erosão de 1999 a 2002
Itiquira a mont. Estrada BR-163	↑	↑	1931-97	↑	35,8	1979-82 Maior erosão de 1979 a 1982
Piquiri em Estrada BR-163	↑	↑	1969-88	↑	20,7	1978-82 Maior erosão de 1978 a 1981
Cuiabá em Porto Alegre	↑	↓	1968-95	↓	-11,6	1978-81 Depósitos no leito a montante
Taquari em Coxim	↑	↑	1966-95	↑	30,3	1978-82 Maior erosão de 1980 a 1982
Miranda em Estrada MT-738 (antiga)	↑	↓	1978-95	↑	41,3	1978-82 Maior erosão de 1978 a 1981
Aquidauana em Ponte do Grego	↓	↓	1982-95	-	-	- Pequeno período de observação
Aquidauana em Aquidauana	↓	↓	1976-02	↑	1,03*	1978-02 Maior erosão de 1980 a 1982
Paraguai em Porto Esperança	↑	↑	1964-95	↑	5,33	1978-81 Deveria ser menor, Influência Taquari

* Taxa atual, já tendo atingido valores mais elevados

Esse volume de sedimento distribuído uniformemente na bacia erodida, o que é feito pela divisão com a área de drenagem, representa uma altura de degradação de $0,092 \text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$, tendo em 10 anos altura de 0,92mm e em 25 anos de 2,30mm (de 1978 a 2002):

$$h_t = \frac{S_t}{A} = \frac{13,891 \times 10^6}{151.130 \times 10^6} = 0,0000919 \text{m} \cdot \text{ano}^{-1} = 0,092 \text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$$

A produção de sedimentos (P_{st}), ou descarga sólida específica, na alta bacia, seria de $137,9 \text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$, calculada como:

$$P_{st} = \frac{Q_{st}}{A} = \frac{20,837 \times 10^6}{151.130} = 137,9 \text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$$

Em Porto Esperança foi calculado o deflúvio em suspensão de $7,33 \times 10^6 \text{t.ano}^{-1}$ e deflúvio sólido total de $8,79 \times 10^6 \text{t.ano}^{-1}$, correspondendo a volume total de $5,86 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ que é o material que segue para jusante. A diferença com o valor erodido na área do planalto é de $8,031 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, calculado como a seguir:

$$S'_{st} = \frac{20,837 \times 10^6 - 8,79 \times 10^6}{1,5} = 8,031 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$$

Considerando que a área de Pantanal no lado brasileiro, a montante de Porto Esperança, é de cerca de 130.000km^2 , resulta em valor depositado como elevação de altura de $0,062 \text{mm.ano}^{-1}$, de $0,6 \text{mm}$ em 10 anos e de $1,54 \text{mm}$ em 25 anos:

$$h_t = \frac{8,031 \times 10^6}{130.000 \times 10^6} = 0,000062 \text{m.ano}^{-1} = 0,062 \text{mm.ano}^{-1}$$

Na realidade esta camada não tem distribuição uniforme, sendo parte contida nos leitos dos rios como assoreamento e parte distribuída na várzea pelas enchentes pela ressuspensão da carga sólida.

Considerando que nas décadas de 1970 e 1980 houve um grande aumento de áreas agrícolas e que a erosão aumentou grandemente no período, foi calculado o volume de sedimento produzido na alta bacia até 2002, supondo taxa média anual de 10% avaliada a partir da Tabela 5.26, cujos valores variam desde 66% a 1%. A Tabela 5.28 apresenta os cálculos.

Dividindo o valor do somatório da terceira coluna por $1,5 \text{t.m}^{-3}$, este cálculo resulta em $1.366 \times 10^6 \text{m}^3$ nos 25 anos, que, transformados em altura de degradação conduz a $0,00904 \text{m}$ em 25 anos ou $9,04 \text{mm}$. A média nos 25 anos resulta em $0,36 \text{mm.ano}^{-1}$.

$$h_t = \frac{1.366 \times 10^6}{151.130 \times 10^6} = 0,00904 \text{m} = 9,04 \text{mm} \text{ em 25 anos}$$

O somatório apresentado para Porto Esperança na Tabela 5.28 representa o valor que está saindo para jusante. Procedendo ao cálculo para o sedimento que ficou retido no Pantanal acima de Porto Esperança nos 25 anos, considerando a taxa de 5,33%, conforme Tabela 5.26, resultou num volume depositado de $1.073 \times 10^6 \text{m}^3$, cuja altura de degradação é de $8,26 \text{mm}$, ou seja, com média de $0,33 \text{mm.ano}^{-1}$.

$$S_{st} = \frac{2.049.284.725 - 439.159.762}{1,5} = 1.073 \times 10^6 m^3$$

$$h_{grad} = \frac{1.073 \times 10^6}{130.000 \times 10^6} = 0,00826m = 8,26mm \text{ em 25 anos}$$

Esses resultados estão resumidos na Tabela 5.29, a seguir.

Tabela 5.28. Cálculos de descarga sólida acumulada em 25 anos considerando taxa média anual de 10%, na Alta Bacia e em Porto Esperança.

Ano	Alta bacia		Porto Esperança – Pantanal	
	$Q'_{st} = Q_{st} \times 1,10$ (t.ano ⁻¹)	Q'_{st} (t.ano ⁻¹)	$Q''_{st} = Q_{st} \times 1,0533$ (t.ano ⁻¹)	Q''_{st} (t.ano ⁻¹)
1978	20.837.275	20.837.275	8.790.761	8.790.761
1979	22.921.003	43.758.278	9.259.309	18.050.070
1980	25.213.103	68.971.381	9.752.830	27.802.900
1981	27.734.413	96.705.794	10.272.656	38.075.556
1982	30.507.854	127.213.648	10.820.188	48.895.744
1983	33.558.640	160.772.288	11.396.904	60.292.648
1984	36.914.504	197.686.792	12.004.359	72.297.007
1985	40.605.954	238.292.746	12.644.191	84.941.198
1986	44.666.550	282.959.296	13.318.127	98.259.325
1987	49.133.204	332.092.500	14.027.983	112.287.308
1988	54.046.525	386.139.025	14.775.674	127.062.982
1989	59.451.177	445.590.202	15.563.218	142.626.200
1990	65.396.295	510.986.497	16.392.737	159.018.937
1991	71.935.925	582.922.422	17.266.470	176.285.407
1992	79.129.517	662.051.939	18.186.773	194.472.180
1993	87.042.469	749.094.408	19.156.128	213.628.308
1994	95.746.716	844.841.124	20.177.150	233.805.458
1995	105.321.387	950.162.511	21.252.592	255.058.050
1996	115.853.526	1.066.016.037	22.385.355	277.443.405
1997	127.438.879	1.193.454.916	23.578.495	301.021.900
1998	140.182.767	1.333.637.683	24.835.228	325.857.128
1999	154.201.043	1.487.838.726	26.158.946	352.016.074
2000	169.621.148	1.657.459.874	27.553.218	379.569.292
2001	186.583.262	1.844.043.136	29.021.804	408.591.096
2002	205.241.589	2.049.284.725	30.568.666	439.159.762

Saindo para jusante de Porto Esperança

Tabela 5.29. Resumo dos cálculos de altura de degradação e de elevação.

Bacia	Área de drenagem A km ²	Descarga suspensão Q _{ss} t.ano ⁻¹	Descarga sólida total Q _{st} t.ano ⁻¹	Volume sólido total V _{st} M ³ .ano ⁻¹	Altura de sedimento h _t mm.ano ⁻¹	Altura de sedimento h _{t/10 anos} mm	Altura de sedimento h _{t/25 anos} mm
Alta bacia	151.130	17,36 x10 ⁶	20,837 x10 ⁶	13,891 x10 ⁶	0,092 degradação	0,92 degradação	2,30 degradação
Pantanal acima Porto Esperança	130.000	7,325 x10 ⁶	8,790 x10 ⁶	8,031 x10 ⁶ (volume no Pantanal)	0,062 agração	0,62 agração	1,54 agração
Consideração com aumento da taxa de transporte de sedimento de 10% de 1978 a 2002							
Alta bacia	151.130		2.049x10 ⁶ (valor acumulado)	1.366 x10 ⁶	0,36 degradação		9,04 degradação
Pantanal acima Porto Esperança	130.000		439x10 ⁶ (valor acumulado saindo)	1.073 x10 ⁶ (volume retido)	0,33 agração		8,26 agração

A descarga sólida total que passa para jusante de Porto Esperança é 44,4% daquela medida na alta bacia, o que se conclui que 55,6% fica retida no Pantanal. Esse cálculo é aproximado uma vez que não estão contempladas todas as sub-bacias, sendo, no entanto a quase totalidade.

Essas alturas de degradação de 0,092 a 0,36mm.ano⁻¹ representam valores altos quando comparados com outras bacias no país ou no cenário mundial. Como exemplo pode-se citar a bacia do Colorado, nos EUA, e do Mekong, na Tailândia, que apresentam alturas de degradação de 0,12mm.ano⁻¹, ou a do Yangtse, na China, de 0,15mm.ano⁻¹, que são regiões muito mais populosas que a da BAP e que estão, portanto, sujeitas a maior erosão.

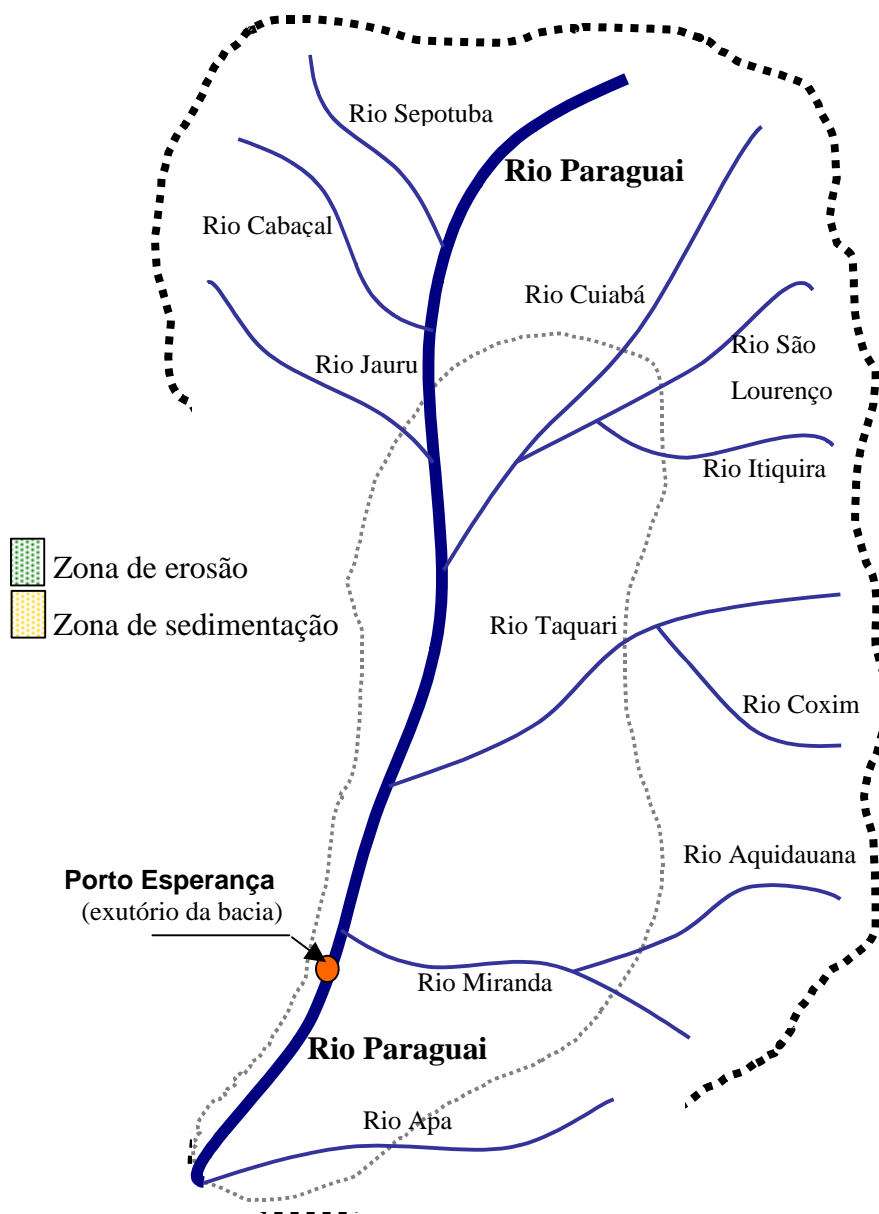
Conclui-se que os valores médios de elevação de altura no Pantanal, situados entre 0,062 a 0,33mm.ano⁻¹, são valores muito altos quando se considera um pequeno “período geológico” de 25 anos, cuja altura de depósito pode ser de 8,26mm conforme mostrado na Tabela 5.29.

Certamente que as enchentes no Pantanal, em áreas de inundação, crescerão e terão maior frequência por conta dos depósitos. Provavelmente também por conta da variabilidade climática.

É bom lembrar que essa grande produção de sedimentos se deve á erosão em áreas desmatadas para agricultura e outros fins. Lamentavelmente não há o cuidado de manejo adequado na agricultura e nem cuidados com a prevenção da erosão em outras fontes como em mineração, em construção de estradas e em outras obras.

A bacia tem uma geologia desfavorável, composta em grande parte de rochas sedimentares como o arenito e outras, de fácil erosão quando o solo está sem a proteção da cobertura vegetal.

A Figura 5.54 mostra um esquema da área de produção de sedimentos, a erosão antrópica e outras causas, correspondendo à alta bacia da BAP, e a zona de sedimentação correspondendo ao Pantanal.



- O deflúvio sólido depositado na zona de sedimentação com espessura entre 9 e 26mm corresponde a um valor que, em termos geológicos, é muito elevado;
- Com os rios do Pantanal assoreados, esperam-se grandes cheias e inundações;

Figura 5.54. Bacia do Alto Paraguai - Esquema de áreas de produção de sedimento e de sedimentação.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho foram apresentados os resultados das descargas sólidas medidas durante o período do projeto e realizado um estudo hidrossedimentológico comparativo considerando os resultados dessas campanhas e de medições de outras entidades.

Os resultados das descargas sólidas medidas foram apresentados pelo valor da descarga em suspensão, da descarga do leito, do material do leito e descarga sólida total. Essas medições foram calculadas pelo método modificado de Einstein, considerando os valores por faixas granulométricas até 16,00mm. Assim os materiais finos, como argila e silte, além de materiais mais grossos, como areias até 2,0mm, foram considerados. Esses materiais até 2,0mm podem ficar associados com agroquímicos, poluentes e elementos traço, tendo ficado completamente caracterizados para os presentes estudos.

As medições realizadas por outras entidades foram citadas, porém foram aproveitadas nos estudos somente os dados do DNOS, cujas campanhas foram realizadas de 1977 a 1982, e os dados da ANA com campanhas nos últimos anos. As medições realizadas por outras entidades (EFNOB/IPH/Tecnosolo, FEMA/MT, PCBAP, CPAP/EMBRAPA e setor elétrico) foram esporádicas, sem continuidade.

O estudo comparativo das medições mostrou que a maioria dos valores estão situados na ordem de grandeza das medições do DNOS, excetuando-se as medições nos rios São Lourenço, Taquari e Coxim cujos valores de descarga sólida foram altos.

A partir dos dados do DNOS e da ANA, verificou-se que a vazão e a descarga sólida dos rios da BAP estão aumentando com o tempo. As taxas anuais de aumento da carga sólida no período de grande aumento de áreas agrícolas alcançaram valores altos, como 66,8% no São Lourenço, 50,8% no Cuiabá, 48,3% no Taquari e 41,3% no Miranda.

Atualmente as taxas anuais de aumento do transporte de sedimento nos cursos d'água estão estabilizadas entre 1 e 2% ao ano, provavelmente devido às condições de desmatamento e agricultura na bacia.

Foi verificado que os valores médios anuais de descarga sólida em suspensão ainda estão menores do que os valores considerados normais nos EUA, segundo a comparação com o estudo de Khosla. É bom lembrar que a linha de valores normais de produção de sedimento de

Khosla é um estudo feito nos EUA, onde a população é maior, solos diferentes, maior área de agricultura, não podendo ser exatamente um padrão de comparação para o nosso país.

No entanto, alguns dos cursos d'água (São Lourenço, Cuiabá, alto Paraguai, Miranda, Taquari e Coxim) já têm uma carga sólida cujos valores não são desprezíveis, são crescentes com o tempo e podem chegar a valores indesejáveis em futuro muito próximo.

A altura de degradação média na alta bacia pode estar entre 0,092 e 0,36mm.ano⁻¹, valor que pode ser considerado elevado considerando as condições do país.

Foi verificado que o volume de sedimentos gerado nos últimos anos ficou depositado no Pantanal com um total aproximado de 58%, representando uma camada uniforme entre 0,062 e 0,33mm.ano⁻¹, podendo ter chegado a 8,26mm, totalizado nos 25 anos de estudos considerados. Esta camada não tem distribuição uniforme, sendo a maior parte contida nos leitos dos rios como assoreamento e parte distribuída na várzea pelas enchentes e ressuspensão da carga sólida.

O aumento da vazão e da carga sólida pode ser uma decorrência da variabilidade climática, que está afetando muitas regiões do país. É um fato que o maior aumento da carga sólida se deve ao aumento da erosão pelo uso do solo, mas pode restar menor parte que pode ter influência da variação do escoamento. Os dados de vazão utilizados no estudo são de pouco período, de cerca de 30 anos, não podendo ser conclusivo sobre o efeito dessa variabilidade climática. Melhores estudos terão que ser realizados com dados de temperaturas e de precipitações de estações do INMET, que foram instaladas no começo do século passado, portanto com cerca de 100 anos de observação.

Considerando que a BAP tem uma geologia desfavorável, composta em grande parte de rochas sedimentares como o arenito e outras, é certo que se pode esperar grandes problemas de erosão, uma vez que a área de agricultura aumentou por demais sem que tenha havido os cuidados de proteção do solo. É bom lembrar que a produção de 1kg de grão provoca a erosão correspondente a 10kg de solo. Somente neste ano o país espera a produção de 118,5 milhões de toneladas de grãos, sem ter mencionado o quanto de solo foi erodido e que, grande parte, se refere à produção nas áreas agrícolas da BAP.

Outros estudos, que têm de ser feitos, são a abrangência da área agrícola, os aspectos de erosão decorrente, verificação da área desmatada nas cabeceiras dos rios bem como

providências para melhorar a rede sedimentométrica e a frequência de observação para permitir estudos sedimentológicos mais precisos.

Destaca-se a necessidade de operação contínua de postos hidrossedimentométricos. As medições da carga sólida do PCBAP e do presente trabalho, foram realizadas em locais dos cursos d'água onde não existiam postos fluviométricos, com exceção de poucas das medições. Por outro lado, não houve uma continuidade no processo que se pudesse fazer um processamento da forma tradicional, isto é, obter uma curva de transporte de sedimentos que aglomere muitas medições e permita obter equações que representem o fenômeno em todos os estágios de níveis d'água. A obtenção dessa curva, uma função correlacionando concentração ou descarga sólida com a descarga líquida – $(Q_{sól}, C)=f(Q)$, permite ainda que seja aplicada na série de vazões médias diárias do ano das medições consideradas para obtenção de descargas sólidas médias diárias, valores característicos mensais e anuais e determinados parâmetros que permitem uma comparação adequada do fenômeno ano a ano ou de local para outro.

As medições do DNOS com operação por cinco anos e frequência mensal foram os trabalhos de campo até o momento mais completos, não tendo sido mantidos por falta de recursos e depois pela extinção da entidade. Os critérios de escolha da rede do DNOS basearam-se no seguinte:

- uso dos postos fluviométricos em operação na rede contendo dados históricos necessários a estudos;
- postos instalados no início do médio curso do rio onde as velocidades são altas, as descargas líquidas e sólidas são sensíveis; excetuam-se os postos já dentro do Pantanal;
- escolhidos postos de fácil acesso que também coincidiram com as exigências acima;
- medições frequentes da descarga sólida do Rio Paraguai em Porto Esperança que controla a quase totalidade da bacia em estudo; o mesmo critério para o posto do Rio Cuiabá em Porto Alegre;
- os rios de pouco transporte sólido não foram contemplados (Cabaçal, Sepotuba, Jauru, Correntes);

- alguns dos postos foram instalados a pedido do EDIBAP, Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai, sob a coordenação da OEA, para atender estudos de locais de futura construção de barragens.

Esses dados do DNOS têm sido utilizados por diversas entidades para estudos sedimentológicos, principalmente em aproveitamentos hidrelétricos para avaliação de assoreamento e vida útil (UHE Itiquira, UHE Manso e estudos de inventário).

A rede sedimentométrica da ANA, de 14 postos no momento, tem medições somente de concentração de sedimento em suspensão com frequência de operação de quatro medições anuais, o que é considerado muito baixa. Em todo caso é suposto que essa rede seja permanente, o que permitirá estudos no futuro. Espera-se que a ANA melhore a frequência de operação e também obtenha dados de descarga total e de granulometria do sedimento em suspensão e do leito. Era de se supor que os postos do DNOS seriam reativados uma vez que já dispunham de dados de cinco anos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURE, COMMERCE, DEFENSE, INTERIOR DEPARTMENTS. Independent Agencies Working Group: Work Group 3 on Sediment. **National handbook of recommended methods for water-data acquisition sediment**. Washington D.C.: US Geological Survey, Chapter 3, 1978.

BRAGA, A. **Monografia de final de curso – Engenharia Civil**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.

BRANCO, S. M.; PORTO, R. L.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; DE LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: ABRH, 1991.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Normas e recomendações hidrológicas**. Anexo III: Sedimentometria. Brasília: DNAEE, 1970.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Manual para Serviços de Hidrometria**. Brasília: DNAEE, 1977.

BRASIL / MMA / PNMA. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - Pantanal - PCBAP. Volume 2, Tomo 2 - Hidrossedimentologia**, Projeto Pantanal, 1997.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CEMIG. **Manual de hidrometria**. Belo Horizonte: Divisão de Hidrometria, 1965.

CHIEN, N.; WAN, Z. **Mechanics of Sediment Transport**. Reston: ASCE Press, 1998.

CPRM. **Recomendações para os trabalhos de sedimentometria**. Belo Horizonte, 1976.

HOROWITZ, A. J. **The use of suspended sediment and associated trace elements in water quality studies**. IAHS Special Publication. Atlanta, Georgia, 1995.

IPH. **Regionalização do Alto Paraguai**. Porto Alegre: Eletrobrás, v. 2, 1994.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA JÚNIOR, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de cerrado através de dados TM/Landsat. In: **Ações Prioritárias para a Conservação do Cerrado e Pantanal**. Brasília: UnB\GEF\MMA\CNPq, 1998.

PADOVANI, C. R. **Monitoramento hidrossedimentológico**. Relatório 2000 – CNPq/PELD. Corumbá: EMBRAPA-PANTANAL. <<http://www.icb.ufmg.br/~peld/home.html>> Acessado em 03/04/2003.

PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, OMM, Organización Meteorologica Mundial e Gobiernos de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. **Manual de Instrucciones – Estudios Hidrologicos**. Publicación No. 140. Manágua, Nicaragua, 1977.

TUCCI, C. E. M. Potencial impacts and development of the Pantanal, in: **International Symposium Hidrological and Geochemical Process in Large Scale River Basin**. Manaus, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Bacias brasileiras do rio da Prata: avaliações e propostas**. Brasília: ANA, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Impacto da variabilidade climática e uso do solo nos recursos hídricos**. Câmara Climática de Recursos Hídricos. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasília: ANA, 2002.

WMO. **Guide to hydrological practices**. Geneva, 1981.