

Universidade Federal de Mato Grosso
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos

Avaliação da Descarga Sólida no Reservatório do Rio Manso em Mato Grosso
Utilizando o Método Simplificado de Colby

Autor: Valmir José da Silva

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silveira

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Airton Gomes

Cuiabá – MT

Novembro/2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Valmir José da Silva

**Avaliação da Descarga Sólida no Reservatório do Rio Manso em Mato Grosso
Utilizando o Método Simplificado de Colby**

Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Airton Gomes

Cuiabá – MT

Novembro/2009

Avaliação da Descarga Sólida no Reservatório do Rio Manso em Mato Grosso Utilizando o
Método Simplificado de Colby

Valmir José da Silva

Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Recursos Hídricos.

Aprovada por:

Alexandre Silveira (Dr.) – UFMT – Orientador

Ricardo Blat Migliorini (Dr.) – UFMT – Examinador Interno

Marcelo De Julio (Dr.) – ITA – Examinador Externo

Cuiabá – MT

2009

EPIGRAFE

Senhor, concedei-me:

A serenidade necessária para aceitar as coisas que não posso modificar

Coragem para modificar aquilo que posso modificar,

E sabedoria para distinguir uma coisa da outra.

(Oração da serenidade)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Ao meu pai: Emitério Manoel da Silva (*in memoriam*) que nos deixou antes da conclusão deste trabalho, vai com Deus pai;

À minha mãe: Juzina Viera da Silva, obrigado pelo carinho, cuidado e todos os ensinamentos que você me dedicou no decorrer desta vida;

Ao meu filho: Marcos Vinicius Tolentino da Silva busque a sabedoria, pois esta é superior a todos os tesouros da terra;

À minha esposa: Selânia de Lima Tolentino, obrigado pelo carinho amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por preservar minha vida para conclusão deste trabalho, pois: *“As misericórdias do Senhor são a causa de não sermos consumidos, porque as suas misericórdias não têm fim” (Lamentações 3:2).*

Agradeço ainda:

À minha esposa Selânia de Lima Tolentino, pelo carinho e paciência e minha cunhada Rosilânia de Lima Tolentino, pela ajuda nas tarefas em casa;

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Silveira, pelo acompanhamento e generosidade durante a execução deste trabalho;

Ao Eng. MSc. José Pedro Garcia da Rocha, técnico da UFMT pelos ensinamentos de campo e laboratório na área de hidrologia e sedimentologia;

Aos Engs. Luis Francisco Tegon de Pinho e Maria Cristina Ramos, colegas de trabalho na SEMA que sempre se dispuseram a emprestar livros e materiais desta área de pesquisa contribuindo assim de maneira extraordinária na execução deste trabalho;

A todo pessoal dos Laboratórios de Hidráulica e Físico-química do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, bem como o pessoal do laboratório de sedimentologia da Geologia pela paciência e boa vontade, e a Leiliane, funcionária da UFMT, pela formatação deste trabalho;

A todos os meus colegas e amigos da SEMA, que estiveram sempre presentes no decorrer desta caminhada: Pedro Barreto, Juliana Simião, Luciano Pontes, Kely Deluqui, Paulo Barbosa, Lourival Alves e todos funcionários desta instituição que tornou possível para mim a realização deste trabalho;

Enfim, agradeço a todas as pessoas que porventura aqui deixei de citar que são muitas, saibam que todos vocês estão presentes neste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma avaliação da descarga sólida produzida pelas Bacias Hidrográficas do Rio Manso e do Rio Casca localizadas na região Centro Sul de Mato Grosso. A partir de medições em campo e utilizando o Método simplificado de Colby, quantificou-se o aporte sólido no Reservatório de Manso, denominado Aproveitamento Múltiplo de Manso (APM Manso). Foram utilizadas quatro estações fluviosedimentométricas nos Rios Casca, Manso, Quilombo e Roncador nas quais realizou-se doze campanhas mensais no período de junho de 2008 a maio de 2009. Nas campanhas foram avaliadas a vazão líquida e a descarga sólida afluentes ao reservatório. Os resultados apontaram um aporte sólido anual na bacia de $1,08 \times 10^6$ toneladas de sedimentos em que 54% provêm da bacia do Rio Casca, e 46% advêm da bacia do Rio Manso. O aporte líquido anual encontrado é de $4,29 \times 10^9$ m³ onde 58% provêm da bacia do Rio Casca, e 42% é oriundo da bacia do Rio Manso. Os resultados permitem inferir que o aporte de sedimentos ao reservatório não representa riscos operacionais imediatos ao aproveitamento hidrelétrico, devido ao grande volume morto do mesmo, cuja vida útil foi calculada em aproximadamente 4000 anos. A Bacia Hidrográfica do Rio Casca e do Rio Manso podem ser consideradas como altamente produtoras de sedimentos, pois apresentam produções de descarga sólida específica superiores a 175 t/km².ano (Carvalho, 2000a). Observaram-se vazões líquidas muito elevadas no Rio Manso durante o período chuvoso e vazões extremamente baixas no período de seca enquanto na bacia do Rio Casca não se identificou este fenômeno. Na finalização do trabalho definiu-se a curva chave de sedimentos nos quatro rios em estudo.

Palavras-chave: Sedimentologia, Reservatório, Vazão Líquida, Descarga Sólida.

ABSTRACT

This paper presents an evaluation of sediment discharge produced by the Watersheds of Manso River and Casca River located in the South Central part of Mato Grosso state. By using field measurements and the simplified method of Colby, the sediment input to the Manso Reservoir (also called APM Manso) was quantified. For the study, the data for twelve months from June 2008 to May 2009 of four Flow and Sediment Monitoring Stations in the rivers of Casca, Manso, Quilombo and Roncador was assessed. The field surveys evaluated flow and sediment discharge tributaries to the reservoir. The results showed an annual input in the basin of 1.08×10^6 tons of sediment, 54% coming from the Casca River basin and 46% from the Manso River basin. The annual discharge was estimated in 4.29×10^9 m³, 58% coming from the Casca River basin and 42% coming from the Manso River basin. The results show that the sediment input to the reservoir does not pose immediate operational risks to the hydroelectric facility due to the large dead volume of the reservoir, whose lifetime was estimated to be of about 4000 years. The Watersheds of the Rivers Casca and Manso can be considered as producing high sediment yields due to its sediment discharge exceeding 175 t/km².year (Carvalho, 2000a). Excessive water flow was observed in the Manso River during the rainy season and extremely low flows during the dry season, while in the Casca River basin this phenomenon was not identified. On the conclusion of the study the sediment generalized curves(CCS) were defined for the four rivers under study.

Keywords: Sedimentology, Reservoir, Liquid Flow, Solid Discharge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama da velocidade, da concentração e da descarga sólida na seção transversal (a) e esquema da distribuição dos sedimentos ao longo do curso de água (b). (CARVALHO, 2008).	6
Figura 2 – Distribuição de concentração na vertical para materiais de tamanhos variados que podem ser encontradas num curso d'água (CARVALHO, 1994).....	7
Figura 3 – Ábaco para obtenção da descarga sólida não medida por metro de largura do rio à partir da velocidade média.Fonte: ÁBACO (1), PAIVA (2003).....	14
Figura 4 – Ábaco para obtenção da concentração relativa a partir da velocidade média e da profundidade média do curso d'água.....	15
Figura 5 – Ábaco para obtenção da descarga sólida total pelo método de Colby.	16
Figura 6 – Reservatório e barragem em planta e curva cota x área, adaptado de NAGHETTINI (1998).	20
Figura 7 – Reservatório em corte e gráfico cota X volume, adaptado de NAGHETTINI (1998).	21
Figura 8 – Parâmetros de montante (terminologias) definidos após a construção da barragem, adaptado de NARGHETTINI (1998).	21
Figura 9 – Gráfico ilustrativo do balanço hídrico em um reservatório, adaptado de NEGHETTINI (1998).....	23
Figura 10 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (CARVALHO, 2008).....	25
Figura 11 – Curva de Brune.	27
Figura 12 – Zonas de nível d'água, amostragem medida e não medida, numa vertical de amostragem do sedimento em suspensão (GUY e NORMAN,1970 apud SANTOS et al., 2001)......	34
Figura 13 – Bacia hidrográfica definida pelo APM Manso e as estações fluviosedimentométricas monitoradas: C1, Q2, R3 e M4 – Imagem: SEMA/MT com adaptações.....	38
Figura 14 – Ilustração da medição de vazão líquida sobre ponte, estações C1, Q2, R3 e M4.	41

Figura 15 – Coletor USDH-59 (Fotos 1 e 2) utilizado em velocidades altas e coletor USDH-48 (Fotos 3 e 4) utilizado em velocidades baixas para coleta de sedimentos em suspensão. Foto: Pedro Rocha – UFMT.	42
Figura 16 – Amostrador Rock-Island ou AMF2. Foto: Valmir J. Silva.....	43
Figura 17 – Ilustração da equipe e do veículo utilizado nas campanhas de campo com equipamentos utilizados. Foto: Pedro Rocha – UFMT.	44
Figura 18 – Material coletado em campo, sedimento em suspensão e de fundo.....	45
Figura 19 – Classificação granulométrica do sedimento de Arraste ou de Leito (ABNT-NBR 6502/95).....	45
Figura 20 – Sedimento de arraste ou leito nas estações, C1, R3 e M4. Foto: Valmir J. Silva .	46
Figura 21 – Fluxograma das curvas granulométricas.....	47
Figura 22 – Amostrador US.DH-48. Foto: Valmir J. Silva.....	48
Figura 23 – Fluxograma da análise do sedimento em suspensão.....	49
Figura 24 – Membranas em cápsulas de porcelana no dessecador (Foto 1), Mufla (Foto 2), Bomba a vácuo e conjunto de filtragem (Foto 3), Estufa (Foto 4), Balança Analítica (Foto 5). Foto: Pedro Rocha – UFMT.	50
Figura 25 – Pesagem do sedimento (Foto), Destorroamento do sedimento em almofariz (Foto 2), Peneiramento (Foto 3), Vista da bancada do laboratório (Foto 4). Foto: Pedro Rocha. UFMT.....	51
Figura 26 – Área de estudo: Localização do APM Manso e Aspectos Fisiográficos.	56
Figura 27 – APM Manso vista de jusante em ponte sobre o Rio Manso (visualização de vertedores, casa de força e canal de fuga).	57
Figura 28 – Mapa de situação da Bacia Hidrográfica do APM Manso, base cartográfica SEPLAN-MT, Datum horizontal SAD-69.	58
Figura 29 – Imagem de satélite mostrando em destaque: vegetação, morfologia dos Rios: Casca, Quilombo, Roncador e Manso nas estações (C1, Q2, R3 e M4) e sentido do fluxo.....	62
Figura 30 - Classificação dos solos da bacia hidrográfica do APM Manso, base cartográfica SEPLAN-MT, Datum horizontal SAD-69 Cambissolos.....	64

Figura 31 – Vista superficial de Cambissolos e vegetação de cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Manso (M4). Foto: Valmir J. Silva (outubro/2008).....	65
Figura 32 – Paisagem em área de Cambissolos, e ave do cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Manso (M4). Foto: Valmir J. Silva (novembro/2008).....	65
Figura 33 – Vista superficial de Areia Quartzosa (AQ) ou Neosolo Quartzarenico (NQ) em Chapada dos Guimarães –MT. Foto: Valmir J. Silva (agosto/2008).	66
Figura 34 – Modelo digital de elevação do estado do Mato Grosso (Adaptado de COUTINHO, 2005).....	68
Figura 35 – Mapa de declividades do Estado do Mato Grosso (Adaptado de COUTINHO, 2005).....	68
Figura 36 – Rio Casca com visão de corredeiras. Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).....	69
Figura 37 – Rio Manso com visão de meandros e morfologia. Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).....	69
Figura 38 – Rio Roncador na estação R3 alto transporte de sedimentos. Foto: Valmir J. Silva (dezembro/2008).....	70
Figura 39 – Vista do Rio Quilombo apresentando leito rochoso no ponto de coleta (Q2). Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).....	70
Figura 40 – Rio São Lourenço (MT), assoreamento ao longo do curso d’água (04/07/1984). Fonte: Carvalho, 2008	71
Figura 41 – Rotores de turbinas desgastadas por abrasão de sedimentos, Poxoréu – MT (13/03/1988). Fonte: Carvalho, 2008.	71
Figura 42 – AHE Itiquira, Rio Itiquira (MT). Potência instalada 156MW, área inundada 2,1 km ² , volume total 4,8 hm ³ , início de operação outubro de 2002 e após 5 anos de operação 2/3 do reservatório está tomado por sedimentos impossibilitando a geração de energia elétrica. Foto: http://www.construtoraquebec.com.br/obras_barragens07.asp (Acesso em 20/12/2008). Fonte: ITISA, 2007.....	72
Figura 43 – Assoreamento do reservatório UHE Poxoréu, CEMAT-MT, provocado pela erosão de mineração do ouro e diamante (13/03/1988). Início das operações em 1976 e em cinco anos de funcionamento já estava assoreado (IGLESIAS, 1994b).	73

Figura 44 – Rio da Casca – MT, vista aérea PCH Casca III também sofre com problemas de assoreamento. Fonte: http://www.panoramio.com/photo/17026811 . Acesso em 20/12/2008.	73
Figura 45 – Altura pluviométrica C1 (Rio Casca).....	75
Figura 46 – Altura pluviométrica Q2 (Rio Quilombo).....	75
Figura 47 – Altura pluviométrica R3 (Rio Roncador).....	76
Figura 48 – Altura pluviométrica M4 (Rio Manso).	76
Figura 49 – Curva -chave com equações definidas para o rio Manso na Estação M4.	78
Figura 50 – Curva-chave e equações definidas para rio Roncador na Estação R3.	78
Figura 51 – Curva-chave e equações definidas para rio Quilombo na Estação Q2.....	79
Figura 52 – Curva-chave e equações definidas para rio Casca na Estação C1.	79
Figura 53 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação C1.	80
Figura 54 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação Q2.....	80
Figura 55 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação R3.	81
Figura 56 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação M4.	81
Figura 57 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m^3/s) e pluviometria (mm) na Estação M4.	88
Figura 58 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m^3/s) e pluviometria (mm) na Estação R3.	89
Figura 59 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m^3/s) e pluviometria (mm) na Estação Q2.	89
Figura 60 – Alta descarga sólida no Rio Cachoeirinha (comunidade Cachoeira Rica), um afluente do Rio Quilombo, em julho de 2008. Foto: Pedro Rocha. UFMT	90
Figura 61 – Empresa mineradora de diamantes no Rio Cachoeirinha afluente do Rio Quilombo.....	90
Figura 62 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m^3/s) e pluviometria (mm) na Estação C1.	91
Figura 63 – Variação percentual da descarga sólida na cheia.	92
Figura 64 – Variação percentual da descarga sólida na seca.....	92
Figura 65 – Variação percentual da vazão líquida na cheia.	93
Figura 66 – Variação percentual da vazão líquida na seca.....	93

Figura 67 – Variabilidade dos sedimentos em suspensão em torno da média.	95
Figura 68 – Variabilidade da vazão líquida em torno da média.	96
Figura 69 – Variabilidade da descarga sólida em torno da média.	96
Figura 70 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Casca.	97
Figura 71 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Quilombo.	98
Figura 72 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Roncador.	98
Figura 73 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Manso.	99
Figura 74 – Curvas granulométricas na Estação R3 (Rio Roncador).	100
Figura 75 – Curvas granulométricas na Estação C1 (Rio Casca).	100
Figura 76 – Curvas granulométricas na Estação C1 (Rio Manso).	101
Figura 77 – Resumo da descarga sólida em cada ponto de contribuição e afluência anual no APM Manso.	104
Figura 78 – Tela do computador com aplicação da Ferramenta “Solver” da Planilha eletrônica Excel na Definição de Curva-Chave de Vazão Líquida.	178
Figura 79 – Tela do Computador apresentando o Método Colby-1957 utilizando o Software no Cálculo da Descarga Sólida Total.	179
Figura 80 – Controle de Leitura de Réguas na Estação C1.	181
Figura 81 – Controle de Leitura de Réguas na Estação Q2.	181
Figura 82 – Controle de Leitura de Réguas na Estação M4.	182
Figura 83 – Controle de Leitura de Réguas na Estação R3.	182
Figura 84 – Produção de sedimentos em suspensão em grandes Bacias Hidrográficas brasileiras (adaptado de Lima <i>et al.</i> , 2005). Fonte: CARVALHO, 2008.	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de equipamentos utilizados.....	48
Tabela 2 – Junho/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 1ª campanha de campo.	83
Tabela 3 – Julho/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 2ª campanha de campo.	83
Tabela 4 – Agosto/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 3ª campanha de campo.	83
Tabela 5 – Setembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 4ª campanha de campo.	84
Tabela 6 – Outubro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 5ª campanha de campo.	84
Tabela 7 – Novembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 6ª campanha de campo.	84
Tabela 8 – Dezembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 7ª campanha de campo.	85
Tabela 9 – Janeiro/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 8ª campanha de campo.	85
Tabela 10 – Fevereiro/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 9ª campanha de campo.	85
Tabela 11 – Março/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 10ª campanha de campo.	86
Tabela 12 – Abril/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 11ª campanha de campo.	86
Tabela 13 – Maio/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 12ª campanha de campo.	86
Tabela 14 – Resumo de resultados da vazão líquida (QL) e descarga sólida (QST) com afluência anual sólida e líquida.	87

Tabela 15 – Resultados específicos médios de vazão líquida (QL) e produção de sedimentos em cada sub-bacia hidrográfica.	94
Tabela 16 – Cálculo da vida útil do APM Manso.	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Guia para correção da descarga do leito e para orientação do método de obtenção dessa descarga.....	9
Quadro 2 – Resumo das principais fórmulas para cálculo da descarga do leito ou material de arrasto.	10
Quadro 3 – Métodos de medição da carga sólida.....	10
Quadro 4 – Frequência desejável para levantamentos topo-batimétricos de reservatórios.....	27
Quadro 5 – Avaliação do assoreamento dos reservatórios das UHE's de Itaipu e Itiquira,	30
Quadro 6 – Valores de produção de sedimentos aceitáveis (CARVALHO, 2000a).....	35
Quadro 7 – Estações de monitoramento.....	37
Quadro 8 – Resumo das especificações técnicas do APM Manso (FURNAS, 2002).....	57
Quadro 9 – Estação C1.....	176
Quadro 10 – Estação Q2.....	176
Quadro 11 – Estação R3.....	177
Quadro 12 – Estação M4.....	177
Quadro 13 – Altura pluviométrica(h) em mm das chuvas no período em todas as estações de monitoramento (C1, Q2, R3, M4).	180

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
° ‘ ‘‘	Graus, minutos e segundos
°C	Graus Celsius
a	Ano
A	Área da seção transversal
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APM Manso	Aproveitamento Múltiplo de Manso
C’s	Concentração do Sedimento em Suspensão
C1	Estação no Rio Casca
CCS	Curva-chave de Sedimentos
Cr	Concentração Relativa
d	Dia
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
g	Grama
h	Altura pluviométrica
Km, Km ²	Quilômetro, Quilômetro quadrado
L	Largura da seção
m, m ² , m ³	Mero, Metro quadrado, Metro cúbico
mm	Milímetro
l	Litro
M4	Estação no Rio Manso
mg	Miligrama
NA	Nível da água
PM	Profundidade média

Q2	Estação no Rio Quilombo
Qobs.	Vazão observada/medida (na série histórica)
Qcalc.	Vazão calculada (ajuste do solver)
QL	Vazão volumétrica líquida
QL.ESP.	Vazão líquida específica
Qsm	Descarga sólida medida (descarga sólida em suspensão)
Qsnm	Descarga sólida não medida (descarga sólida de leito)
Qst	Descarga sólida total
QST. ESP.	Descarga sólida total específica
R3	Estação no Rio Roncador
s	Segundo
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente de Mato Grosso
t	Tonelada
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
US DH	United States Depth Hand Sampler
VM	Velocidade máxima na seção
γ_{ap}	Peso específico aparente dos sedimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	Sedimentometria.....	4
3.1.1	Cálculo da descarga sólida total	8
3.1.2	Arbitrando o valor da descarga do leito.....	9
3.1.3	Resumo de fórmulas existentes	9
3.1.4	Descarga sólida total pelo método simplificado de Colby (1957).....	12
3.1.5	Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein.....	17
3.1.5.1	Explicação do método de Einstein modificado por Colby e Hembre (1955) apud Ayres (2002)	17
3.2	Reservatórios	18
3.2.1	Características físicas dos reservatórios e terminologias	20
3.2.1.1	Capacidade de armazenamento	20
3.2.1.2	Reservatório em corte transversal	21
	Figura 8 – Parâmetros de montante (terminologias) definidos após a construção da barragem, adaptado de NARGHETTINI (1998).	21
3.2.1.3	Balanco hídrico em reservatórios de acumulação	22
3.2.1.4	Produção de reservatórios.....	23
3.2.1.5	Reservatório de acumulação.....	24
3.2.1.6	Previsão de assoreamento em reservatórios	24
3.2.1.7	Disposição de sedimentos no reservatório segundo Carvalho (2008).....	25
3.2.1.8	Eficiência de retenção.....	26
3.2.1.9	Porte dos reservatórios	27
3.2.1.10	Peso específico aparente dos depósitos	28

3.2.1.11	Avaliação do assoreamento total, do volume morto e da vida útil.....	29
3.2.1.12	Comparação do assoreamento nos reservatórios de Itaipu – PR e Itiquira – MT	30
3.2.1.13	Métodos de avaliação do assoreamento.....	31
3.2.2	Curva-chave de sedimentos	32
3.2.2.1	Definição da curva-chave de sedimentos	33
3.2.2.2	Traçado da curva-chave de sedimentos	33
3.2.2.3	Sedimentos em suspensão e turbidez.....	34
3.2.2.4	Estudos de reservatórios com auxílio de imagens de satélites	35
3.2.2.5	Valores de produção de sedimentos aceitáveis.....	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1	Trabalhos de campo.....	36
4.2	Procedimentos de cálculo e computacionais	51
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	55
5.1	O Reservatório.....	55
5.2	Geologia	59
5.3	Hidrologia.....	59
5.4	Climatologia	60
5.5	Vegetação	61
5.6	Solos	62
5.7	Usos do Solo.....	66
5.8	Geomorfologia.....	67
5.9	Problemas do assoreamento em Mato Grosso.....	69
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
6.1	Pluviometria	74
6.2	Curva-chave de vazão líquida.....	77
6.2.1	Concentração dos Sedimentos em Suspensão	80

6.3	Determinação da Descarga Sólida.....	82
6.4	Variação Temporal da vazão líquida e da descarga sólida.....	88
6.5	Distribuição de vazão entre as bacias hidrográficas na seca e cheia.....	92
6.6	Análise dos parâmetros: concentração de sedimentos em suspensão (C's), vazão líquida (QL) e descarga sólida (QST) em função da média	95
6.7	Curva-chave de sedimentos	96
6.8	Curvas granulométricas obtidas	99
6.9	Avaliação da Vida Útil do APM Manso em função do assoreamento	102
6.9.1	Resumo da descarga sólida anual específica e vazão líquida anual específica e nos afluentes (Casca, Manso, Quilombo e Roncador) e aporte anual no APM Manso	104
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
8	BIBLIOGRAFIA	107
9	APÊNDICES	176
10	ANEXOS	183

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos acontecem naturalmente provocados por chuvas e ventos que atuam como agentes externos modificadores do relevo terrestre e agentes internos como o vulcanismo e o tectonismo. Os problemas se tornam notórios quando o homem potencializa esses fenômenos da natureza passando a atuar como um agente modificador descontrolado da morfologia terrestre. Os efeitos das ações antrópicas sobre o solo de uma bacia hidrográfica podem ser observados através do transporte de sedimentos na calha fluvial de seus rios e córregos. Os custos financeiros para recuperação dos rios ou reservatórios que foram assoreados são muito altos, sendo assim, o monitoramento hidrossedimentológico na bacia é um indicador necessário para inferir o nível de degradação provocado.

A agricultura do Brasil exerce grande influência nos processos erosivos observados nas bacias hidrográficas. O aumento da população demanda por novas áreas para plantio agrícola e/ou pecuária para garantir alimentação. Um grande desafio da humanidade é justamente encontrar mecanismos que possibilitem um desenvolvimento sustentável, conciliando crescimento populacional e manutenção dos recursos naturais, em especial a conservação do solo.

Visto que a produção de energia elétrica no Brasil é baseada nos aproveitamentos hidráulicos utilizando-se de usinas hidrelétricas, as barragens se tornam elementos estranhos no ciclo hidrológico ao modificar o regime de escoamento de água e de sedimentos para jusante.

A finalidade destas obras civis objetiva ao atendimento de vários interesses sociais tais como: abastecimento humano e/ou animal, geração de energia elétrica, navegação, prevenção contra enchentes, lazer como previsto na Lei Federal n.º 9433/1997 (que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos). Entretanto, os barramentos em cursos d'água atuam como impedimento para o transporte natural dos sedimentos produzidos nas cabeceiras da bacia hidrográfica. A vida útil de um aproveitamento hidrelétrico é definida como o tempo necessário para o assoreamento do volume morto, desta forma as atividades antrópicas desenvolvidas a montante desta obra estão diretamente relacionadas com o aporte de sedimentos no reservatório.

Faz-se necessário um correto plano de manejo na bacia hidrográfica com vistas a coibir ou diminuir atividades nocivas de erosão do solo. Os danos ambientais e econômicos devido a acumulação de sedimentos nos reservatórios podem ser grandes e de extrema

dificuldade de remediar, particularmente em regiões áridas e semi-áridas (ICOLD, 1989 *apud* CARVALHO, 2000a).

Segundo SANTOS *et al.* (2001), para destacar a importância desta área do conhecimento para o Brasil, do ponto de vista econômico a produção agrícola brasileira, base da matriz econômica estudos indicam que em média para cada 1kg de grão produzido o país perde entre 6 e 10kg de solo por erosão. O Estado de Mato Grosso possui sua base de desenvolvimento econômico fundamentado em atividades agrícolas mecanizadas e pecuária extensiva. Devido à demanda por energia elétrica, vários projetos de aproveitamento hidroelétrico estão sendo instalados em varias regiões do estado, fazendo com que a preocupação com a erosão e assoreamento seja constante.

Desta forma o conhecimento do transporte de sedimentos nos rios torna-se obrigatório, para projeto e operação das barragens, visando o monitoramento de sua vida útil. O objeto deste trabalho é o Aproveitamento Múltiplo de Manso-APM Manso, um reservatório construído com objetivos múltiplos entre eles a contenção de cheias, geração de energia elétrica e lazer. Situado no município de Chapada dos Guimarães-MT, região centro-sul do estado de Mato Grosso, o reservatório é dividido em dois eixos: norte que é alimentado pela bacia do Rio Manso cuja litologia se forma por rochas do grupo Cuiabá, e sul que é alimentado pela bacia hidrográfica do Rio Casca cuja litologia é formada por rochas da bacia sedimentar do Paraná.

Neste trabalho é apresentada a quantificação da descarga sólida e vazão líquida anual afluente ao APM Manso com o objetivo de avaliar a vida útil do reservatório, em função da produção anual de sedimentos na bacia. Para obtenção dos resultados realizou-se coletas mensais de sedimentos em suspensão e de fundo e medição de vazão nos rios que alimentam o reservatório, a saber: Casca, Manso, Roncador e Quilombo.

Utilizou-se o método simplificado de Colby para determinação da descarga sólida total afluente no período de junho de 2008 a maio de 2009, com realização de coletas mensais em cada rio contribuinte ao reservatório.

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a vida útil do APM Manso em função do transporte de sedimentos com base em medições nos rios afluentes ao reservatório: Rio Manso, Rio Casca, Rio Roncador e Rio Quilombo, a partir do levantamento de dados hidrosedimentológicos: vazão líquida e descarga sólida.

Os objetivos específicos necessários para atingir o foco deste trabalho são:

- Determinar a vazão líquida e descarga sólida mensal afluente ao reservatório com base em medições de campo nas estações de monitoramento;
- Determinar a curva-chave de vazão líquida e de descarga sólida nos rios afluentes ao reservatório;
- Estimar a vida útil do reservatório e comparar com a vida útil do projeto original.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sedimentometria

A Sedimentometria aqui tratada se refere à medida da quantidade do sedimento transportado pelos cursos d'água. A carga sólida medida se refere à argila, silte e areia transportada. Apesar de na classificação granulométrica estarem incluídos pedregulhos, pedra e matacão, esses materiais não são tratados normalmente nesses estudos (CARVALHO *et al.*, 2000a).

Segundo CARVALHO (2008), o termo sedimento se refere a partícula depositada. Quando se fala no seu sentido semântico e para os propósitos deste trabalho o sedimento é a partícula derivada da rocha, ou material biológico, que pode ser transportada por fluido. É a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição. É o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito.

Sedimentologia é a ciência 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 uma matéria que tem grande importância mundial devido aos diversos problemas causados pelos sedimentos. É necessário o seu conhecimento nos estudos, projetos e operação de obras fluviais, bem como conservação das terras e recursos hídricos (CARVALHO, 2008).

BICALHO (2006), PAIVA *et al.*, (2001), RODRIGUES-JR *et al.*, (1997), PARANHOS e PAIVA (2003), MARTINS e COIADO (1999) entre outros autores dizem que é importante a realização das amostragens durante a ocorrência dos eventos, pois a maior parte do transporte de sedimentos (de 70 a 90%) acontece na época chuvosa, obtendo-se uma melhor representatividade da amostragem e otimizando os trabalhos.

PICOUET *et al.*, (2001) consideram que 90% da carga de sedimentos é transportada em uma pequena parcela de duração do evento (5%) e aproximadamente 80-90% da carga anual de sedimento em suspensão é transportada durante 25% do período anual de cheias. YANG *et al.*, (2002) relatam que a descarga sólida média que é

transportada durante cheias do rio Yangtze, chega a 93% do total (BICALHO *apud* 2006).

SANTOS *et al.*, (2001) diz que o transporte de sedimentos pelos rios é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia e no leito e margens dos rios, e que fornecem material que, por sua vez, depende da energia do fluxo para ser transportado. A combinação dessas variáveis, fornecimento de material e energia de fluxo, resulta em um fenômeno com grande variação no tempo e no espaço. O transporte de sedimentos é um processo natural que envolve remoção, transporte e deposição de material e faz parte da evolução da paisagem originando as formas geomorfológicas.

Os rios são os grandes receptores e transportadores de sedimentos provenientes da erosão dos solos enquanto que os oceanos são os grandes receptores finais. Em prazo geológico, há a formação de ilhas nos estuários e deltas, assim como o aterramento de vastas áreas próximas ao mar, que passam a fazer parte do continente (ALFREDINI, 2005).

Sabe-se também que a mudança na quantidade de descarga sólida provoca respostas ao rio conforme as alterações impostas e a capacidade de transporte do escoamento do trecho, pois o aumento da carga sólida provocará um aumento na tendência de formações de depósito no leito do rio, fenômeno conhecido como “agradação”. Ao contrário, o rio com pequena descarga de sólidos tende a uma maior “degradação” de seu leito (CARVALHO, 2008).

A distribuição dos sedimentos ao longo da seção transversal é variável em função da velocidade de corrente, considerando que as velocidades são menores perto das margens, além da disponibilidade de sedimentos e sua granulometria, de acordo com o que ilustra a Figura 1 (CARVALHO, 2008).

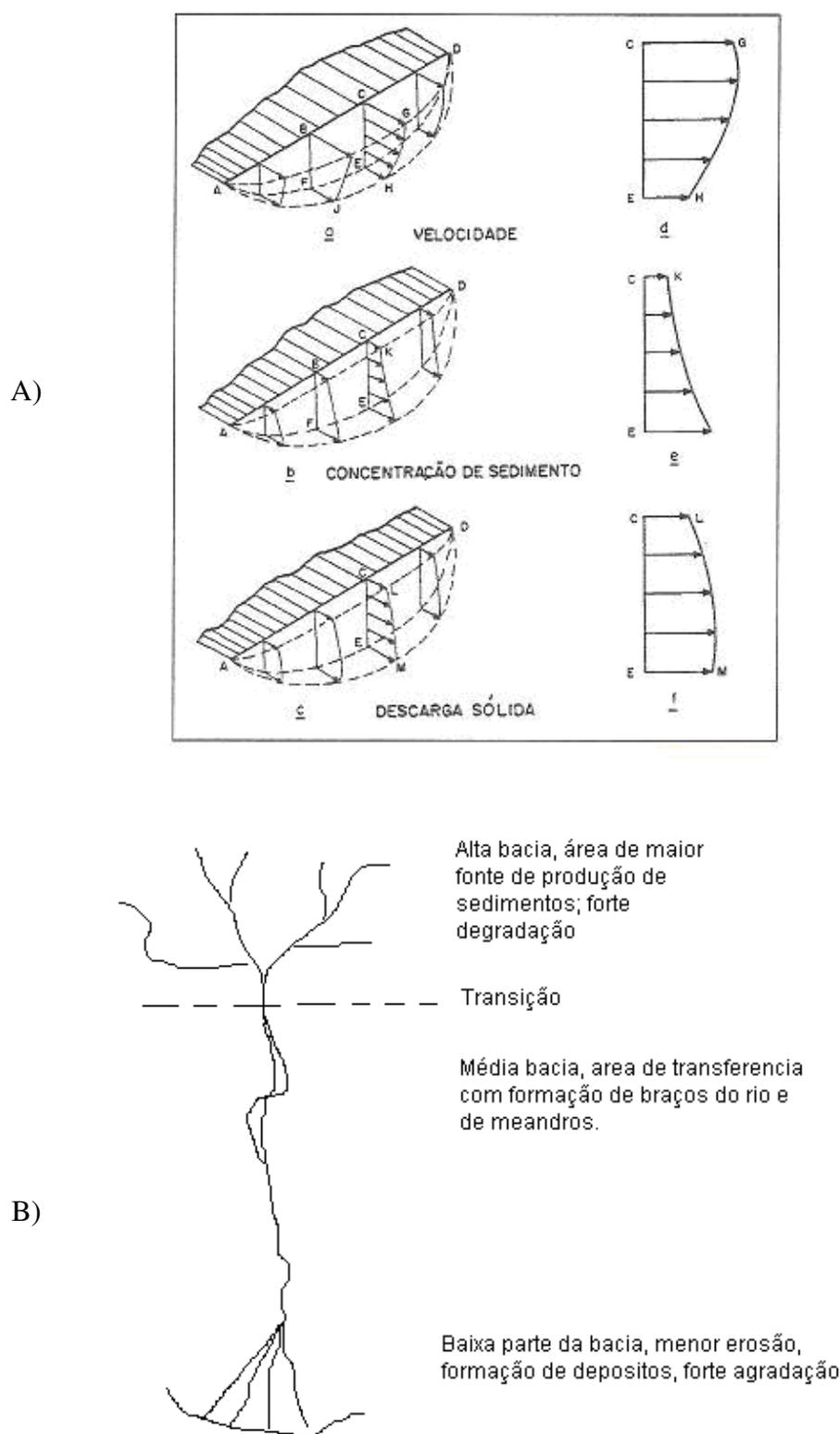


Figura 1 – Diagrama da velocidade, da concentração e da descarga sólida na seção transversal (a) e esquema da distribuição dos sedimentos ao longo do curso de água (b). (CARVALHO, 2008).

A Figura 1 evidencia que o máximo da descarga sólida é transportada pelas regiões de maior velocidade. De modo geral, o alto curso é a área da bacia com maior degradação e o rio transporta elevadas quantidades de material grosseiro, com predominância do transporte de arraste. O médio curso é uma área de maior estabilidade, onde não há elevados acréscimos e perdas do volume transportado, que apresenta uma granulometria média. O baixo curso é uma região de agradação, onde predomina a deposição dos sedimentos e o rio acaba transportando somente partículas finas. Essa situação ocorre na maioria dos rios que apresentam perfil côncavo com declividades monotonamente decrescentes da nascente para a foz. Existem, entretanto, casos como o rio Iguaçu, cujo perfil é convexo e, portanto, a declividade aumenta para jusante o que certamente inverte a variação da concentração de sedimentos (SANTOS *et al.*, 2001).

A partícula em suspensão está sujeita a ação da velocidade da corrente na horizontal e da turbulência, que tendem a mantê-la em suspensão, e do seu peso, que tende a deslocá-la para baixo. Assim as partículas maiores têm uma distribuição na vertical que cresce da superfície para o leito, enquanto os sedimentos finos, como silte e argila, apresentam uma distribuição praticamente uniforme ao longo da vertical. A concentração do sedimento em suspensão em um curso de água varia da superfície para o fundo e de um lado para outro da seção transversal. A concentração é variável em função da velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e de sua granulometria. Considerando que a velocidade é menor próximo as margens a concentração também será menor (SANTOS *et al.*, 2001).

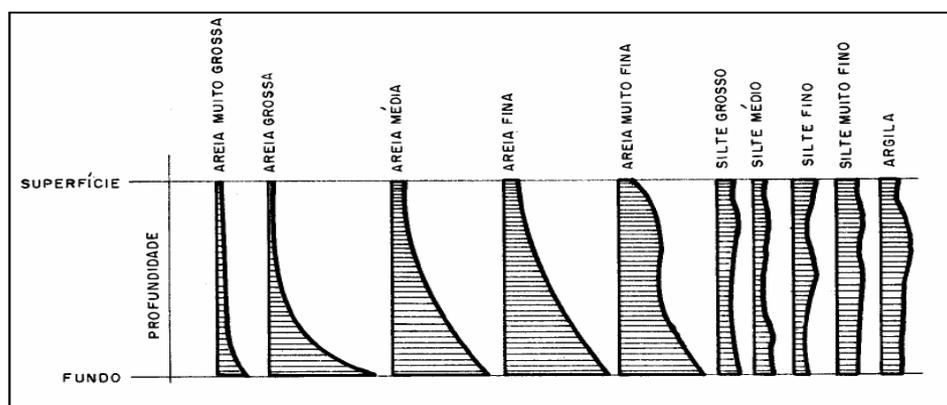


Figura 2 – Distribuição de concentração na vertical para materiais de tamanhos variados que podem ser encontradas num curso d'água (CARVALHO, 1994).

AYRES (2002) diz que a quantidade total de sedimentos transportada em um rio, “*total load*”, é usualmente definida como a soma da descarga de sedimentos transportada por arrasto de fundo, “*bed load*” com a descarga, proveniente do fundo, transportada em suspensão, “*suspendend load*”, acrescidos da descarga de sedimentos em suspensão provenientes da bacia hidrográfica, “*wash load*”. Usualmente, a soma da descarga de sedimentos transportados por arrasto de fundo, com a descarga de sedimentos provenientes do fundo, transportada em suspensão, é denominada de descarga total de material de fundo, “*total bed ou material load*”.

Existem modelos matemáticos que estimam apenas a descarga de fundo, outros a descarga de sedimento em suspensão, obtendo pela sua soma a vazão total de material de fundo transportada pela corrente e, outros que determinam a descarga total de fundo, sem fazer distinção entre a descarga de fundo e descarga em suspensão (AYRES, 2002).

3.1.1 Cálculo da descarga sólida total

A descarga sólida total aproximada pode ser obtida como a soma da descarga em suspensão com a do material do leito, apesar deste procedimento ser questionado devido à imprecisão apresentada pela zona não amostrada (CARVALHO *et al.*, 2000a).

Espera-se um erro máximo de 10% nas determinações de descarga sólida, mesmo incluindo a obtenção da descarga do leito que é muito imprecisa. A descarga em suspensão é normalmente a parte predominante da descarga total, representando na maior parte das medições, mais de 90%. No entanto, a descarga do leito pode apresentar valores de 10 a 150% em relação a descarga em suspensão, (ICOLD,1989 e CARVALHO *et al.*, 2000a).

A descarga sólida total pode ser obtida pelos processos de cálculo do método modificado de EINSTEIN (1950) e pelo método simplificado de COLBY (1957) (CARVALHO *et al.*, 2000a).

Tendo-se algumas medições pelo método modificado de Einstein, que é muito trabalhoso, pode-se utilizar esses valores para correções do método simplificado de Colby ou para obtenção de correlações da descarga total (YUQIAN, 1989 *apud* CARVALHO *et al.*, 2000a).

3.1.2 Arbitrando o valor da descarga do leito

Considerando que sejam disponíveis somente os dados de sedimentos em suspensão, o calculista procura arbitrar o valor da descarga não medida para ter a descarga total necessária a avaliação do assoreamento. Aqui no Brasil é comum, arbitrar esse valor como sendo 10%, enquanto há países cujos serviços arbitram até 30% da descarga em suspensão. ICOLD (1989) *apud* (CARVALHO *et al.*, 2000a) apresenta uma sugestão para escolha do método de obtenção da descarga do leito em função do material do leito e das porcentagens de areia existente na amostra em suspensão (Quadro 1). Esse quadro mostra a complexidade de somente arbitrar a % .

Quadro 1 – Guia para correção da descarga do leito e para orientação do método de obtenção dessa descarga.

Condição	Concentração de sedimento em suspensão (mg/l)	Material do leito	Granulometria do material do leito	% de carga do leito em relação à carga em suspensão
1 (1)	< 1000	Areia	20 a 50% de areia	25 a 150
2 (1)	1000 a 7500	Areia	20 a 50% de areia	10 a 35
3	> 7500	Areia	20 a 50% de areia	5
4 (2)	Qualquer concentração	Argila compactada, pedregulho, pedras roladas ou pedras	Qualquer quantidade até 25% de areia	5 a 15
5	Qualquer concentração	Argila e silte	Nenhuma areia	< 2

(1) Especial amostragem para cálculos pelo método modificado de Einstein são necessárias para essa condição.
(2) Um programa de medições diretas com um amostrador tipo Helley-Smith, ou outro medidor, ou mesmo o uso das fórmulas para material grosso.

Fonte: ICOLD (1989) *apud* CARVALHO (2000a).

3.1.3 Resumo de fórmulas existentes

O Quadro 2 apresenta um resumo das principais fórmulas utilizadas para cálculo da descarga do leito.

Quadro 2 – Resumo das principais fórmulas para cálculo da descarga do leito ou material de arrasto.

Autor da fórmula	Ano	Descarga de arrasto (B) ou de material do leito (BM)	Tipo de fórmula (1)	Tipo de sedimento (2)	Granulometria (3)
Ackers & White (*)	1973	BM	D	S	S, G
Colby	1964	BM	D	S	S
Einstein (carga do leito)	1950	B	P	M	S, G
Einstein (material do leito)	1950	BM	P	M	S
Engelund & Hansen (*)	1967	BM	D	S	S
Kalinske	1947	B	D	M	S
Laursen	1958	BM	D	M	S
Meyer-Peter & Muller (*)	1948	B	D	S	S, G
Rottner	1959	B	D	S	S
Schoklitsch (*)	1934	B	D	M	S, G
Toffaleti	1968	BM	D	M	S
Yang (areia) (*)	1973	BM	D	O	S
Yang (pedregulho) (*)	1984	BM	D	O	G

(1) Determinística (D) ou Probabilística (P)
 (2) Fração granulométrica de areia (S), composição ou mistura (M) ou opcional (O)
 (3) Areia (S) ou pedregulho (G)
 (*) Consideradas de maior confiança por Stevens & Yang.

Fonte: STEVENS & YANG (1989) *apud* CARVALHO (2000a).

No trabalho “Guia de Práticas Sedimentométricas” (CARVALHO *et al.*, 2000b), o autor relata os diversos métodos de medição de descarga em suspensão, do leito ou total são classificados em diretos (ou *in situ*) e indiretos.

O Quadro 3 apresenta os métodos de medição da carga sólida.

Quadro 3 – Métodos de medição da carga sólida.

Descarga sólida	Medição	Descrição	Equipamentos ou metodologia de medida
Descarga sólida em suspensão	Direta	Usa equipamentos que medem diretamente no curso d’água a concentração ou outra grandeza como a turbidez ou ultra-som	Medidor nuclear (portátil ou fixo); Ultra-sônico ótico; Ultra-sônico Doppler de dispersão; Turbidímetro; ADCP (Doppler).
	Indireta	Por acumulação do sedimento num medidor (proveta graduada) Coleta de sedimento por amostragem da mistura água-sedimento, análise de concentração e granulometria e cálculos posteriores da descarga sólida.	Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta). Diversos tipos de equipamentos: - de bombeamento, equipamentos que usam garrafas ou sacas, sendo pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (no Brasil usa-se principalmente a série norte-americana – U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca).

Quadro 3 – continuação.

Descarga sólida	Medição	Descrição	Equipamentos ou metodologia de medida
Descarga sólida em suspensão	Indireta	Uso de fotos de satélite e comparação com medidas simultâneas de campo para calibragem, em grandes rios.	São estabelecidas equações que correlacionam as grandezas de observação das fotos com as concentrações medidas.
	Direta	Amostradores ou medidores portáteis de três tipos principais (a amostra é coletada em diversos pontos da seção transversal, determinada o seu peso seco, a granulometria e calculada a descarga de arrasto); o medidor ficar apoiado no leito entre 2 min a 2 horas de tal forma a receber no receptor 30 a 50% de sua capacidade.	1) Cesta ou caixa – medidores Muhlhofer, Ehrenberger, da Autoridade Suíça e outros; 2) Bandeja ou tanque – medidores Losiebsky, Polyakov, SRIH e outros; 3) Diferença de pressão – medidores Helly-Smith, Amhem, Sphinx, do USCE, Károlyi, do PRI, Yangtze, Yangtze-78 VUV e outros.
		Estruturas tipo fenda ou poço – as fendas do leito do rio são abertas por instantes e coletado o sedimento.	Medidor Mulhofer (EUA).
Descarga sólida de arrasto	Direta	Amostradores ou medidores portáteis de três tipos principais (a amostra é coletada em diversos pontos da seção transversal, determinada o seu peso seco, a granulometria e calculada a descarga de arrasto); o medidor fica apoiado no leito entre 2 min a 2 horas de tal forma a receber no receptor 30 a 50% de sua capacidade.	1) Cesta ou caixa – medidores Muhlhofer, Ehrenberger, da Autoridade Suíça e outros; 2) Bandeja ou tanque – medidores Losiebsky, Polyakov, SRIH e outros; 3) Diferença de pressão – medidores Helly-Smith, Amhem, Sphinx, do USCE, Károlyi, do PRI, Yangtze, Yangtze-78 VUV e outros.
		Estruturas tipo fenda ou poço – as fendas do leito do rio são abertas por instantes e coletado o sedimento.	Medidor Mulhofer (EUA)
	Indireta	Coleta de material do leito, análise granulométrica, medida da declividade, da temperatura, parâmetros hidráulicos e cálculo da descarga de arrasto e de material do leito por fórmulas (de Ackers e White, Colby, Einstein, Engelund e Hansen, Kalinske, Laursen, Meyer-Peter e Muller, Rottner, Schoklitsch, Toffaleti, Yang e outras).	Tipos de equipamentos: 1) de penetração horizontal, tipos caçamba de dragagem e de concha; 2) de penetração vertical, tipos de tubo vertical, caçamba de raspagem, caçamba de escavação e escavação de pedregulho; 3) tipo <i>piston-core</i> que retém a amostra por vácuo parcial.
		Deslocamento de dunas – por medida do volume da duna que se desloca com uso de ecobatímetro de alta resolução.	1) levantamentos batimétricos seguidamente ao longo da seção transversal; 2) levantamentos batimétricos seguidamente ao longo de seções longitudinais.

Quadro 3 – Conclusão.

		1) Traçadores radioativos; 2) Traçadores de diluição, sendo ambos os métodos com a colocação do traçador no sedimento e seu acompanhamento com equipamento apropriado (o traçador deve ser escolhido de tal forma a não poluir o meio ambiente).	Métodos: 1) por colocação direta do traçador no sedimento do leito do rio; 2) por coleta do sedimento, colocação do traçador no sedimento e seu retorno ao leito.
		Método fotográfico, de amostragem – utilizado para pedras (coloca-se uma escala que também é fotografada).	Fotos de pedras submersas; Fotos de pedras de leitos secos.
	Direta	Uso de estruturas tipo blocos, no leito, para provocar turbulência e todo o sedimento ficar em suspensão.	Faz-se a amostragem do sedimento e calcula-se como descarga em suspensão.
		Levantamento topobatimétrico de reservatório, determinação do volume dos depósitos e da eficiência de retenção de sedimentos no lago.	1) Para pequenos reservatórios permite o cálculo do sedimento do leito; 2) Para grandes reservatórios permite o cálculo do sedimento total.
Descarga sólida total	Indireta	Coleta de material em suspensão e do leito, análise de concentração, análise granulométrica, medida da temperatura, parâmetros hidráulicos e cálculo da descarga total – método modificado de Einstein e método simplificado de Colby.	Diversos tipos de equipamentos – de bombeamento, equipamentos que usam garrafas ou sacas, sendo pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (no Brasil usa-se principalmente a série norte-americana – U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca).

Fonte: CARVALHO (1994) *apud* CARVALHO *et al.*, (2000b).

Pode-se observar que apenas os métodos de Colby e Einstein fazem distinção entre a descarga sólida em suspensão e descarga de fundo no cálculo para determinar a descarga sólida total.

3.1.4 Descarga sólida total pelo método simplificado de Colby (1957)

Colby (1957) desenvolveu pelo menos três métodos para o cálculo da descarga sólida total baseada no método modificado de Einstein e em várias medições de campo. Um deles, o método simplificado, usa basicamente três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão (CARVALHO, 2008).

Este método requer a determinação precisa da vazão líquida, área da seção molhada e largura, profundidade média, concentração média de sedimento em suspensão e velocidade média, uma vez que a carga não medida é muito sensível à variabilidade das velocidades (AYRES, 2002).

O método de COLBY (1957), foi descrito por CARVALHO (2008), como segue: A descarga sólida total é acumulada pela soma da descarga sólida medida, Q_{sm} , com a descarga sólida não medida, Q_{nm} :

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm}$$

O cálculo de Q_{sm} é feito pela equação:

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C's$$

Em que:

Q_{sm} – descarga sólida medida (t/dia);

Q – descarga líquida em m^3/s ;

$C's$ – concentração de sedimentos em suspensão.

O cálculo de Q_{nm} é feito por ábacos a partir do conhecimento da velocidade média V_m (m/s), da profundidade média em metros P_m (m), da concentração medida $C's$ (ppm ou mg/l) e da largura de seção L (m), adotando-se o seguinte procedimento:

- 1) Obtêm-se a descarga sólida não medida aproximada, por unidade de largura, q'_{nm} , do ábaco;
- 2) Obtêm-se a concentração relativa, Cr , do ábaco a partir da velocidade média e da profundidade;
- 3) Calcula-se a razão de eficiência: $e = C's/Cr$;
- 4) A partir de $C's/Cr$, obtém-se no ábaco o fator de correção k na linha média 1;
- 5) Calcula-se a descarga sólida não amostrada pelo produto de q'_{nm} , pelo fator de correção k e pela largura de seção: $Q_{nm} = q'_{nm} \cdot L \cdot k$

Os gráficos são mostrados a seguir para efeito ilustrativo de acordo com PAIVA (2003).

Atualmente, existem softwares de computador disponíveis no mercado que agilizam a obtenção destes resultados tipo o que foi utilizado neste trabalho para obtenção da descarga sólida total.

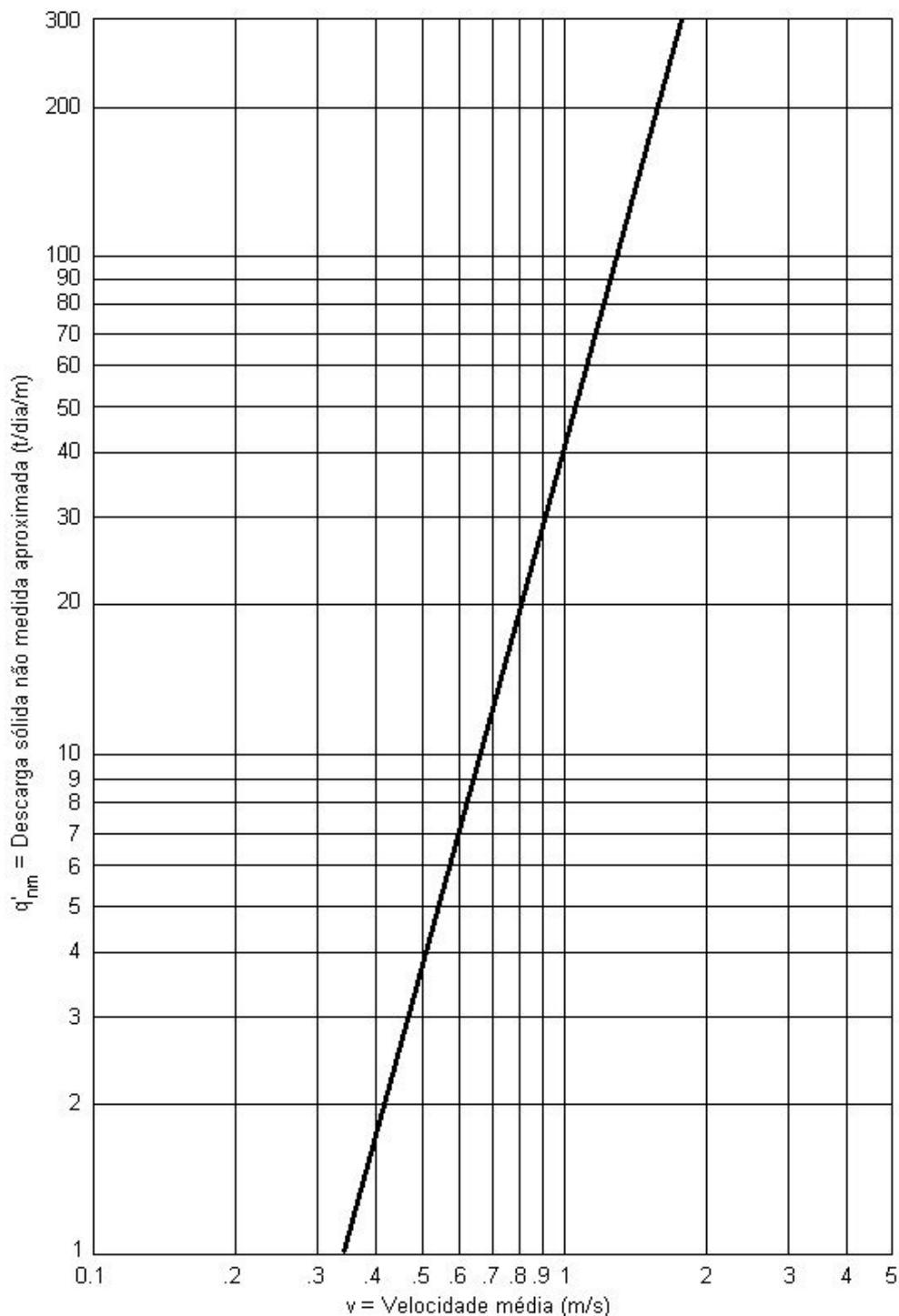


Figura 3 – Ábaco para obtenção da descarga sólida não medida por metro de largura do rio à partir da velocidade média. Fonte: ÁBACO (1), PAIVA (2003).

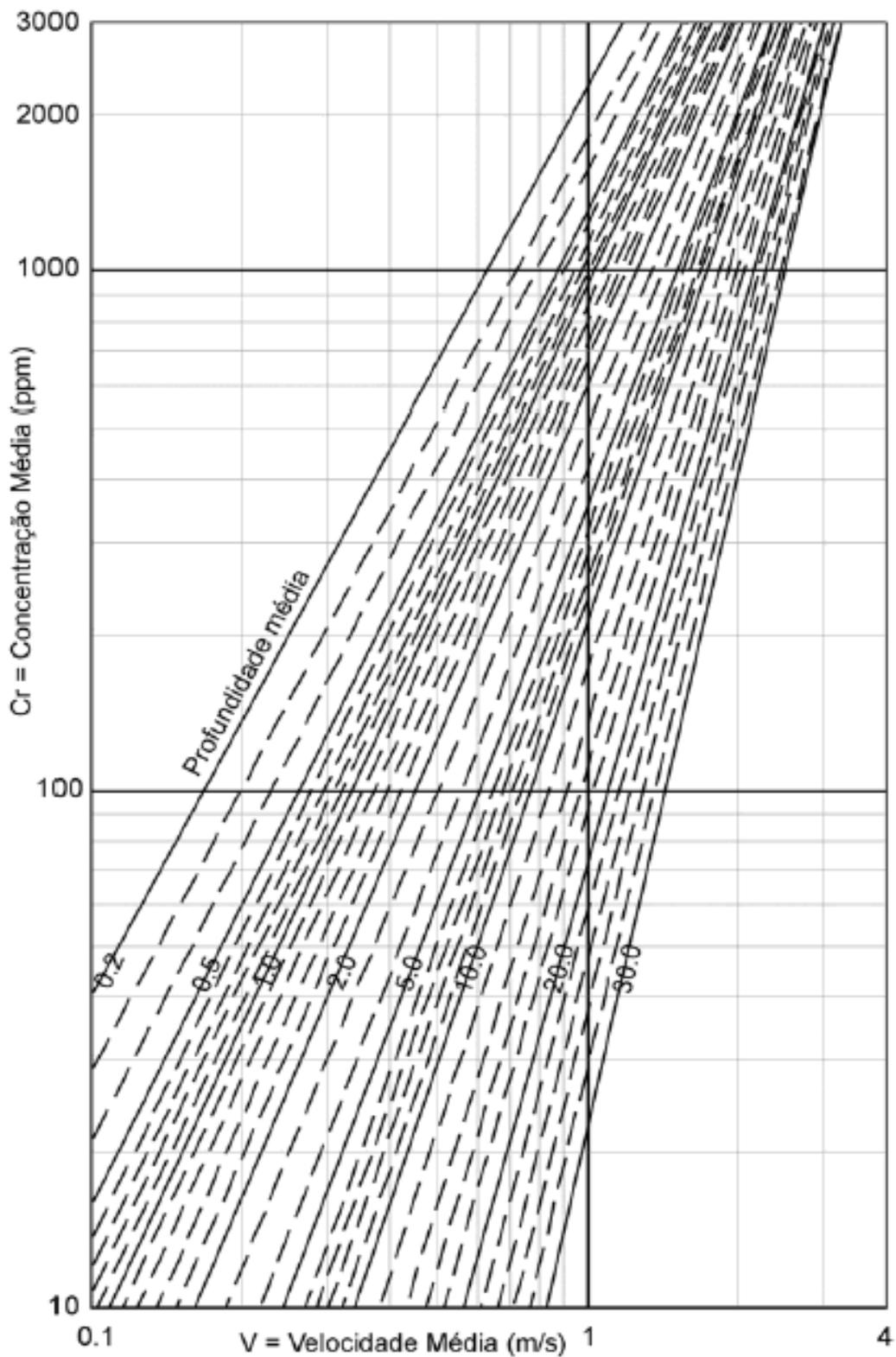


Figura 4 – Ábaco para obtenção da concentração relativa a partir da velocidade média e da profundidade média do curso d'água.

Fonte: ÁBACO (2), PAIVA (2003).

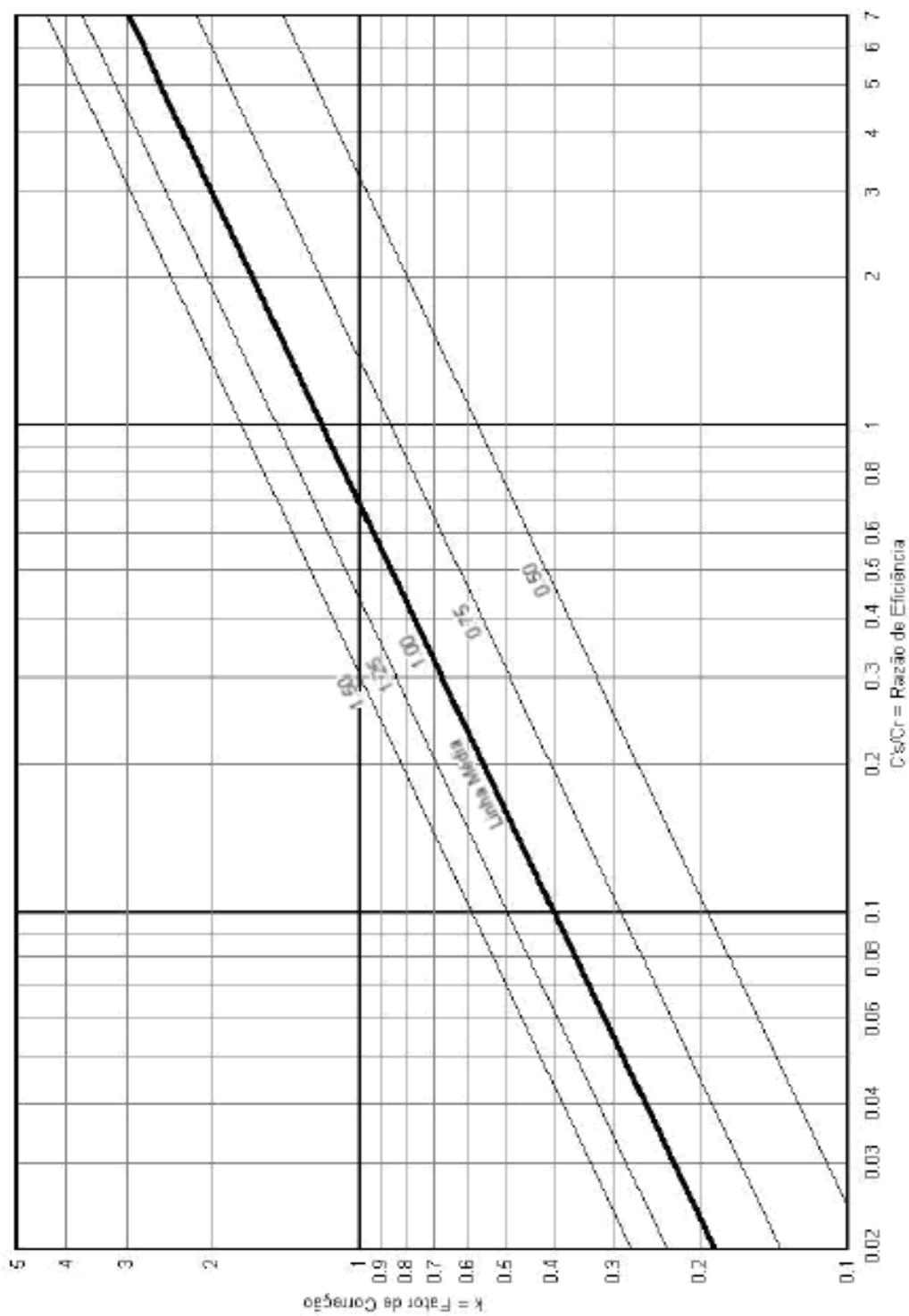


Figura 5 – Ábaco para obtenção da descarga sólida total pelo método de Colby.

Fonte: ÁBACO (3), PAIVA (2003).

3.1.5 Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein

Segundo CARVALHO (2008), o método modificado de Einstein para calcular a descarga total de sedimentos foi desenvolvido em 1955 por B. R. C Colby e C. H. Hembree, do US Geological Survey (USGS) e do U.S. Bureau of Reclamation (USBR), apresentado no trabalho WSP 1357 (USBR).

O método é o resultado de vários anos de pesquisa no campo, conduzidas em conjunto pelo USBR e o USGS em rios aluvionais largos e rasos no Estado de Nebraska. Dos métodos atualmente disponíveis, é o que possui maior precisão para o cálculo do transporte sólido obtido para diversas granulometrias (USBR, 1955 *apud* CARVALHO, 2008).

3.1.5.1 Explicação do método de Einstein modificado por Colby e Hembre (1955) *apud* Ayres (2002)

O método modificado de Einstein, proposto por COLBY e HEMBRE (1995), é um método para o cálculo da descarga total de sedimentos, a partir de medições da descarga em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo e da extrapolação da carga de sedimentos em suspensão baseia-se em modificações no método de avaliação da rugosidade do grão e na função de carga de fundo de EINSTEIN (1950). A descarga de fundo é também calculada da função de carga de fundo de EINSTEIN (1950), com modificações simplificadoras. O método foi desenvolvido a partir de uma série de medições, feitas pelos autores entre 1948 e 1953, no Rio Niobara, em Nebraska.

Os principais fatores que o distinguem do método de EINSTEIN (1950) são:

- 1.º - O método modificado baseia-se em dados que podem ser obtidos de uma seção, ao invés de um longo trecho do rio;
- 2.º - O gradiente de energia não é medido no campo e a velocidade de atrito é calculada indiretamente;
- 3.º - A profundidade é usada para substituir o raio hidráulico;

4° - São introduzidas mudanças nos fatores de correção utilizados por EINSTEIN (1950);

5° - O expoente “Z”, da equação de transporte de sedimentos em suspensão é determinado por tentativas para o diâmetro do grão dominante e para os demais diâmetros é calculado como uma função da potencia 0,7 da velocidade da queda;

6° - O valor do parâmetro de intensidade de transporte de carga de fundo, utilizado por EINSTEIN (1950), é arbitrariamente dividido por dois para ajustar melhor os dados experimentais.

Os dados necessários para a aplicação do método são: a vazão, a velocidade média do escoamento, a área de seção transversal e a largura do rio, o valor médio das profundidades nas verticais onde as amostras de sedimentos foram coletadas, a concentração e a distribuição granulométrica do material em suspensão, a distribuição granulométrica do material de fundo na seção, a temperatura da água e a espessura da camada não amostrada.

Um dos principais pontos de crítica ao método modificado por EINSTEIN (1955) é cálculo do expoente “Z”, da fórmula de transporte de sedimentos em suspensão. Nesse sentido, foram feitos esforços visando aperfeiçoar o método. Dentre os trabalhos realizados com o objetivo de melhorar o cálculo de “Z”, destacam-se o de COLBY e HUBBEL (1961), de LARA (1966) e de SHEN e HUNG (1983).

COLBY e HUBBEL (1961) desenvolveram monogramas que simplificaram o cálculo para Z que consiste em selecionar pelo menos três frações de diâmetro existente tanto na descarga de fundo como na descarga em suspensão e calcular pelo procedimento de COLBY e HUBBEL (1961), plotar os valores obtidos em função da velocidade de sedimentação, em papel logarítimo, e obter por mínimos quadrados a equação para cálculo de “Z” para as demais faixas de diâmetro.

3.2 Reservatórios

A construção de reservatório serve para represar um curso de água com o objetivo de acúmulo para várias finalidades tais como: produção de energia elétrica, irrigação, abastecimento humano e animal ou combate a enchentes em áreas de jusante.

Os reservatórios podem ser classificados em: Reservatório de Acumulação e Reservatórios de Distribuição (IGLESIAS, 1994b).

Na maioria dos casos, os sistemas de abastecimento de água, irrigação ou energia hidrelétrica, que contassem somente com as vazões naturais dos cursos d'água, não poderiam ser capazes de atender suas demandas, de forma segura, ou de forma eficiente e ou de forma economicamente viável (NAGHETTINI, 1998).

Durante as estiagens ou nos períodos de recessão prolongada dos fluviogramas, os cursos d'água possuem pequena vazão. Na estação chuvosa, após episódios importantes de precipitação, os cursos d'água recuperam os seus níveis e suas vazões podem aumentar a ponto de provocar enchentes e inundações (NAGHETTINI, 1998).

A construção de uma barragem e a formação do seu reservatório normalmente modifica as condições naturais do curso d'água. Quanto ao aspecto sedimentológico, as baixas velocidades da corrente possibilitam o depósito de partículas, provocando o assoreamento gradual do reservatório, fenômeno esse que poderá vir a impedir a operação do aproveitamento. No caso de usinas hidrelétricas, isso ocorre quando o sedimento depositado alcança a tomada d'água e passa a se escoar com a água, enquanto a altura dos depósitos se eleva até a obstrução total (CARVALHO, 2008).

Nestas modificações ambientais também podemos citar a inundação de grandes áreas, impedimento da migração dos peixes durante a piracema e proliferação de algas entre outros problemas associados.

Paralelamente ao ciclo da água, existe outro ciclo, aberto, intimamente vinculado ao ciclo hidrológico e deste totalmente dependente, que envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partícula e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia. Por analogia com o ciclo continental da água, pode ser chamada de ciclo hidrossedimentológico, apesar das moléculas de água, os sedimentos não terão como voltar ao meio de onde provêm (TUCCI *et al.*, 2007).

Há bem pouco tempo, o ciclo hidrossedimentológico não despertara interesse semelhante aquele dispensado ao ciclo hidrológico. Raros são os manuais de hidrologia que a ele se referem. A não ser indireta e parcialmente para tratar dos prejuízos que os sedimentos podem causar a algum aproveitamento hidráulico (o caso mais notório diz respeito ao assoreamento de represas). A gestão integrada dos recursos hídricos, os

riscos de degradação dos solos, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estuários, ou de contaminação dos sedimentos por produtos químicos, levaram a reconsiderar essa postura e a maior atenção aos problemas que podem decorrer das alterações do ciclo hidrossedimentológico natural (TUCCI *et al.*, 2007).

No planejamento para a construção da barragem é necessária a verificação da vida útil do reservatório, isto é, o tempo em que à barragem pode vir a perder as suas funções ou ter perturbada economicamente a sua operação. Segundo STRAND (1974), em estudos de planejamento, para garantir a vida útil de um aproveitamento com barragem convêm que o projeto inclua um volume adicional no reservatório igual ao volume de sedimento previsto em estudo da vida econômica (CARVALHO, 2008).

3.2.1 Características físicas dos reservatórios e terminologias

Apresenta-se a seguir o reservatório e suas definições terminológicas.

3.2.1.1 Capacidade de armazenamento

Segundo IGLESIAS (1994b), a capacidade de armazenamento dos reservatórios é uma característica importantíssima na construção de um reservatório. Esta capacidade é estudada na execução do projeto, tendo em vista a área de inundação e a topografia.

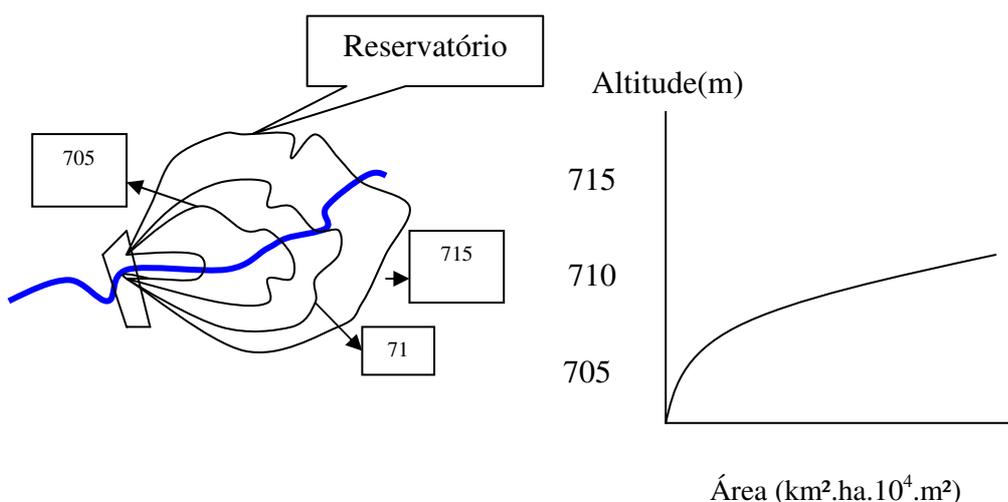
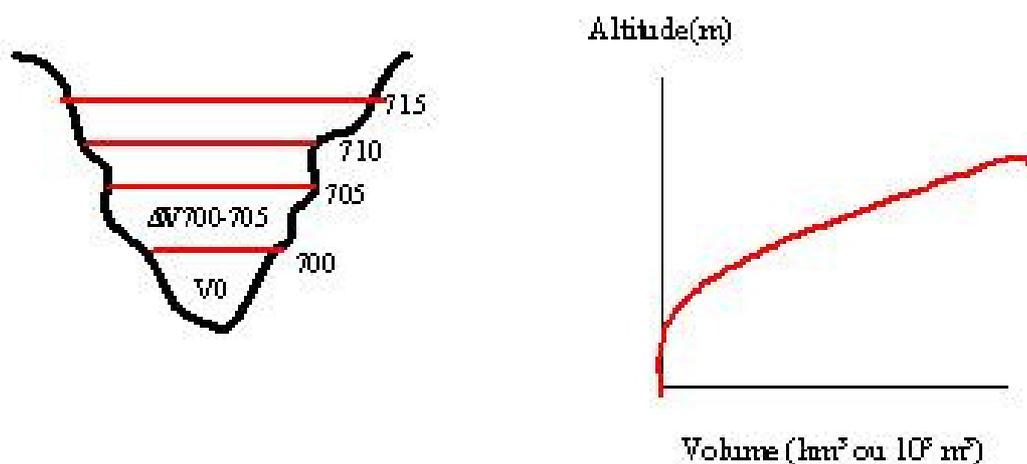


Figura 6 – Reservatório e barragem em planta e curva cota x área, adaptado de NAGHETTINI (1998).

De acordo com NAGHETTINI (1998), a curva cota-volume é o resultado da integração da curva cota-área ao longo das curvas de nível. Por exemplo, se ΔV representa o incremento de volume entre duas curvas de nível (obtido pelo produto da média de suas áreas pela diferença de altitude ou cota correspondente) e V_0 denota o volume inicial então:



$$V_{710} = V_0 + \Delta V_{700-705} + \Delta V_{705-710}$$

Figura 7 – Reservatório em corte e gráfico cota X volume, adaptado de NAGHETTINI (1998).

3.2.1.2 Reservatório em corte transversal

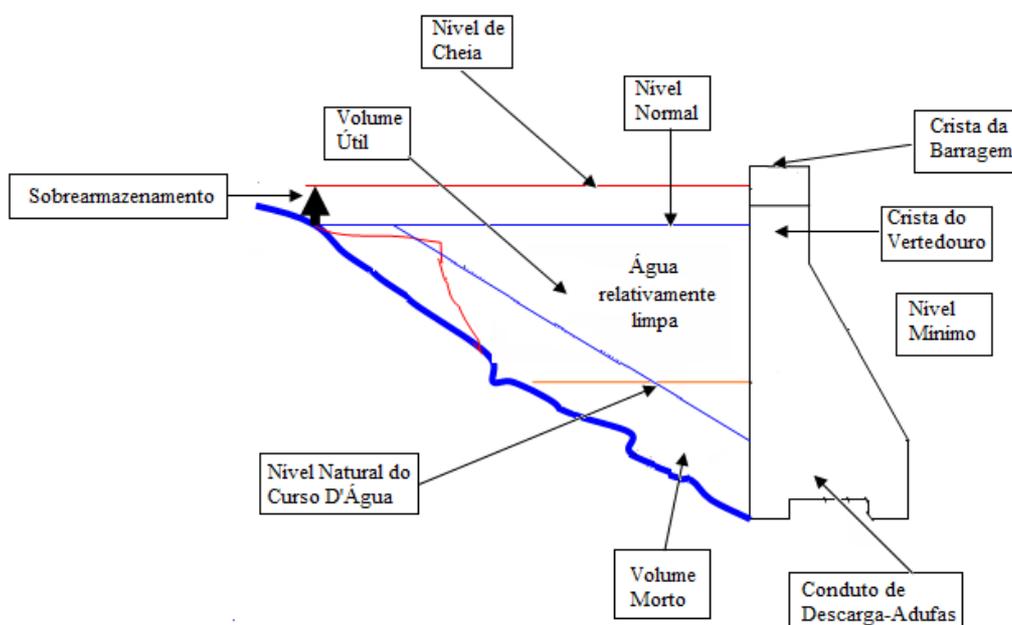


Figura 8 – Parâmetros de montante (terminologias) definidos após a construção da barragem, adaptado de NARGHETTINI (1998).

Terminologias e definições de acordo com NAGHETINI (1998):

- **NA Máximo Normal de Operação (NA mxn.):** cota máxima até a qual as águas se elevam, nas condições normais de projeto. Corresponde a cota da crista vertente, no caso do extravasor não controlado ou de crista livre, ou a cota da borda superior das comportas, no caso de extravasor controlado;
- **NA Mínimo Normal de Operação (NA min):** cota mínima até a qual as águas abaixam, em condições normais de operação. Corresponde a cota do conduto de saída mais baixo da barragem ou a cota mínima capaz de permitir as melhores condições operacionais de equipamentos como turbinas, de forma a evitar arrastamento de ar ou formação de vórtices na tomada d'água;
- **Volume Útil:** volume armazenado entre o NA mxn e o NA min;
- **Volume Morto:** volume armazenado abaixo do NA min, destinado a acomodar a carga de sedimentos afluentes ao reservatório, durante a sua **vida útil**;
- **Sobrearmazenamento devido a Cheia de Projeto do Extravasor:** volume acima do NA mxn, devido à sobrelevação causada pelo amortecimento da cheia de projeto pelo reservatório. Corresponde ao **NA máximo maximorum (NA Max)**. O sobrearmazenamento não é aproveitado, pois persiste somente durante a cheia;
- **Borda Livre:** Diferença de cotas entre o coroamento da barragem e o NA Maximo maximorum, suficientemente grande para conter a arrebentação de ondas devidas ao vento;
- **Armazenamento nas Margens:** quando o reservatório se enche, a água infiltra-se pelo solo permeável das margens, permitindo um escoamento em sentido contrário quando o NA decresce. Esse armazenamento temporário depende das condições de geologia superficial e, em alguns casos, pode ser significativo.

3.2.1.3 Balanço hídrico em reservatórios de acumulação

A determinação da CAPACIDADE ou VOLUME ÚTIL, de um reservatório de acumulação geralmente se faz por meio da simulação de sua operação (balanço hídrico) ao longo de: um período crítico, ou período de estiagem prolongada, determinando-se o

volume necessário para atender a demanda, sem risco de falha durante o período (NAGHETTINI, 1998).

Apresenta-se a seguir na Figura 9 uma ilustração da equação do balanço hídrico que ocorre em um reservatório.

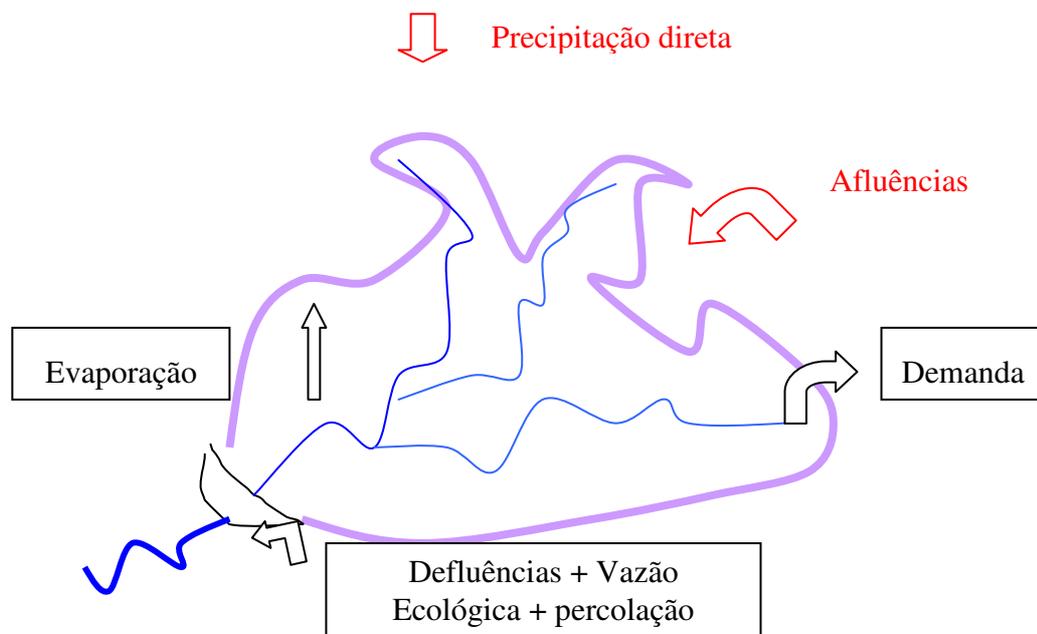


Figura 9 – Gráfico ilustrativo do balanço hídrico em um reservatório, adaptado de NEGHETTINI (1998).

Pela ilustração gráfica pode-se observar que o balanço hídrico em um reservatório de acumulação pode ser resumido na seguinte equação:

$$(Afluências + Precipitação) - (Evaporação + Demanda + Defluências (vazões vertidas no período de cheia) + Vazão Ecológica(vazão mínima garantida no curso d'água a jusante) + Percolação) = \Delta \text{ Volume} / \Delta t$$

3.2.1.4 Produção de reservatórios

De acordo com NAGHETTINI (1998), a produção de reservatório é o volume de água que ele pode fornecer em um determinado intervalo de tempo. Esse intervalo varia de 1 dia, no caso de reservatórios de distribuição, a 1 ou vários anos, no caso de reservatórios de acumulação. A produção de um reservatório varia em função das vazões afluentes e defluentes, bem como da cronologia de suas ocorrências. Em um

caso extremo, se as vazões fossem constantes, não haveria necessidade de reservatórios; à medida que aumenta a variabilidade das vazões, aumenta também a capacidade de armazenamento de um reservatório.

Questões importantes:

- Qual é a demanda a ser atendida ou a vazão a ser regularizada?
- Qual deve ser a capacidade (volume útil) de um reservatório, destinado a atender uma demanda específica (ou regularizar uma vazão especificada), com pequeno risco de falha? (NAGHETTINI, 1998).

3.2.1.5 Reservatório de acumulação

Ainda segundo NAGHETTINI (1998), a determinação da CAPACIDADE ou VOLUME ÚTIL de um reservatório de acumulação geralmente se faz através da simulação de sua operação (balanço hídrico) ao longo de:

- um período crítico, ou período de estiagem prolongada, determinando-se o volume necessário para atender a demanda, sem risco de falha durante o período, ou;
- todo o período histórico disponível, determinando-se a cada ano o volume necessário para atender a demanda e, em seguida, o máximo entre os volumes anuais.

O quociente entre a primeira estimativa do volume provável do reservatório e a vazão média afluente em um dado intervalo de tempo determina se a simulação deve ser feita com dados diários, semanais ou mensais; em grandes reservatórios, geralmente são utilizadas as vazões naturais médias mensais.

3.2.1.6 Previsão de assoreamento em reservatórios

CARVALHO (2008) considera a avaliação do assoreamento de um reservatório uma das aplicações mais tradicionais de um estudo sedimentológico. Para se estimar o volume do reservatório ocupado pelos sedimentos, são necessárias as seguintes informações básicas:

- descarga sólida que entra no reservatório;
- eficiência de retenção do reservatório;
- distribuição dos depósitos de sedimentos em toda a extensão do reservatório;
- peso específico dos sedimentos depositados.

3.2.1.7 Disposição de sedimentos no reservatório segundo Carvalho (2008)

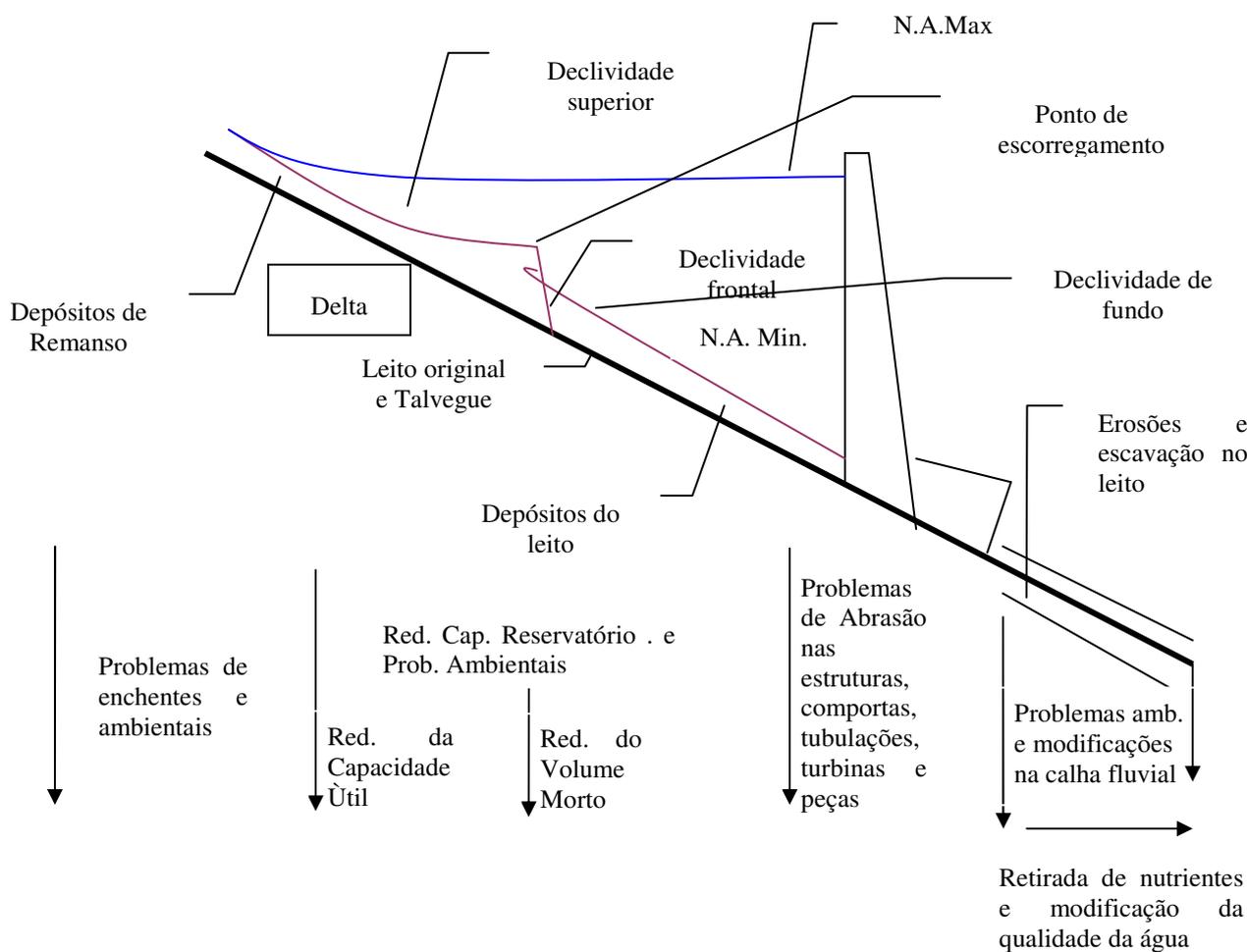


Figura 10 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (CARVALHO, 2008).

Segundo NAGHETTINI (1998), o fim de todos os reservatórios é o de se assorearem. Se o volume anual de sedimentos afluentes ao reservatório for muito grande, quando comparado a sua capacidade, a “vida útil” do empreendimento será curta. A vida útil de um reservatório é aqui entendida como o período de tempo, ao fim

do qual, o reservatório deixa de funcionar como projetado; um exemplo seria o eventual assoreamento das tomadas de água pelos sedimentos afluentes. O assoreamento dos reservatórios depende:

- do volume anual de sedimentos afluentes;
- do peso específico dos sedimentos depositados;
- da porcentagem dos sedimentos afluentes que fica retida dentro do reservatório (eficiência de retenção ou “*trap efficiency*”).

Observa-se que NAGHETTINI (1998) não considerou a distribuição dos sedimentos em toda a extensão do reservatório no processo de assoreamento como fez CARVALHO (1994).

3.2.1.8 Eficiência de retenção

O método mais usado para resolver o problema do assoreamento é destinar, quando do projeto dos reservatórios, uma porcentagem de seu volume como capacidade reservada ao assoreamento. Na realidade o assoreamento dos reservatórios não pode ser evitado, mas pode ser retardado. Uma das maneiras de conseguir é selecionar um local onde o afluxo sólido seja naturalmente baixo (LINSLEY & FRANZINI, 1978).

A porcentagem do afluxo de sedimentos que fica retida nos reservatórios (eficiência de retenção), depende da proporção entre a capacidade do reservatório e o volume total afluente. Um reservatório pequeno, em um grande rio, deixa passar a maior parte de sua vazão afluente tão rapidamente, que as partículas finas não se depositam e seguem para jusante. Um grande reservatório, ao contrário, pode reter água por vários anos e possibilita uma deposição, quase total, dos sedimentos em suspensão (LINSLEY & FRANZINI, 1978).

O valor da eficiência de retenção pode ser obtido a partir de medições sedimentométricas realizadas a montante da barragem ou pode ser estimada a partir de relações entre a eficiência de retenção e outros parâmetros que estejam relacionados, que foram determinados empiricamente por vários pesquisadores, como Brune (1953) e

Churchill (1948), a partir da análise do comportamento de reservatórios americanos (COIADO, 2001b *apud* BICALHO, 2006).

A curva de Brune é utilizada para reservatórios médios ou grandes, e para pequenos adota-se a curva de Churchill (CARVALHO *et al.*, 2000b).

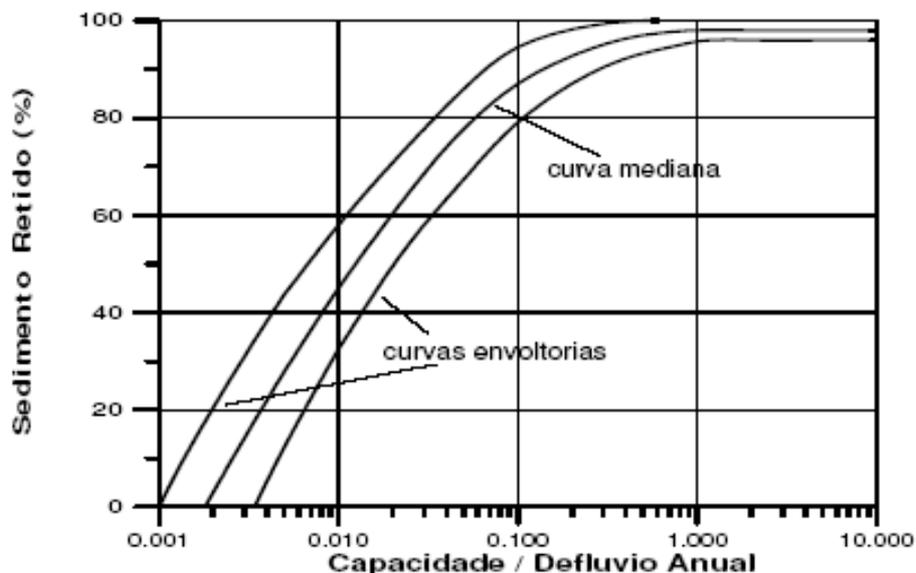


Figura 11 – Curva de Brune.

Fonte: NAGHETTINI (1998).

3.2.1.9 Porte dos reservatórios

A frequência do levantamento topo-batimétrico dos reservatórios varia de acordo com o volume de água acumulado, ou seja, do seu porte e CARVALHO *et al.* (2000a) apresenta a classificação disposta a seguir:

Quadro 4 – Frequência desejável para levantamentos topo-batimétricos de reservatórios.

Porte do reservatório	Classificação em volume 10^6 (m ³) (milhões) de água	Frequência de levantamento
Pequeno	< 10	Cada 2 anos
Médio	Entre 10 a 100	Cada 5 anos
Grande	> 100	Cada 10 anos

Nota: A classificação apresentada não é rígida, podendo ter diferentes conceitos em outros países (CARVALHO *et al.*, 2000a). Fonte: adaptado de CARVALHO, 2000a.

3.2.1.10 Peso específico aparente dos depósitos

O deflúvio sólido é geralmente calculado em termos de peso por tempo, como t/ano, devendo ser transformado em volume equivalente, como m³/ano, através do conhecimento do peso específico aparente. Lara e Pemberton chegaram à conclusão através de pesquisas com amostragem em reservatórios existentes, que o peso específico aparente dos depósitos de sedimento pode ser calculado segundo o tipo de operação desse reservatório, do grau de compactação dos sedimentos e da granulometria, fatores esses, que mais influenciam na consolidação dos depósitos. Outros fatores de menor influência podem ser citados, como densidade de correntes de sedimento no reservatório, declividade do talvegue do curso d'água afluente e o efeito da vegetação na área das cabeceiras do reservatório (CARVALHO *et al.*, 2000a).

O peso específico pode ser: calculado, medido e estimado.

O peso específico (calculado) das partículas sólidas depositadas varia com a idade dos depósitos e com sua granulometria. Os pesos específicos de amostras de sedimentos retirados dos reservatórios variam de 640 a 1750 kg/m³, com um valor médio de 960 kg/m³ para sedimentos recentes e 1280 kg/m³ para sedimentos antigos. Lane e Koelzer propõem a expressão $w_t = w_1 + K \ln t$, onde w_1 é o peso específico inicial (kg/m³) w_t é o peso específico (kg/m³) t anos depois e K é um coeficiente de consolidação que varia com a depleção do reservatório e a granulometria do sedimento (para depleções pouco significativas $K=0,25$ para argila, $K=0,10$ para silte e $K=0,0$ para areia) (NAGHETTINI, 1998).

Para medição do peso específico aparente existem dois processos, ditos direto e indireto. No processo direto, ou *in situ*, utiliza-se um medidor nuclear, tipo radioativo de densidade. No processo indireto utiliza-se coletar uma amostra indeformada com um equipamento tipo gravidade ou piston-core, medir o volume da amostra, levar a mesma a estufa e determinar o peso seco. Essas medidas devem ser efetuadas em várias posições do reservatório para verificação da variação do peso específico e obtenção do valor médio (CARVALHO *et al.*, 2000a).

Ainda segundo CARVALHO *et al.*, (2000a), o peso específico estimado pode ser definido assim:

- Se o sedimento for somente argila, então γ_i variará de 0,42 a 0,96 t/m³;
- Se o sedimento for somente silte, então γ_i variará de 1,12 a 1,17 t/m³;
- Se o sedimento for somente argila, então γ_i será igual a 1,55. t/m³;
- Tendo-se uma composição de iguais porções de argila, silte e areia, tem-se uma variação de 1,02 a 1,22 t/m³.

Nos pequenos reservatórios o material predominante que fica depositado é a areia, então se arbitra o peso específico aparente inicial entre 1,4 a 1,5 t/m³, nos reservatórios de porte médio pode-se ter uma composição com peso específico que varia de 1,2 a 1,4 t/m³, enquanto para grandes reservatórios, onde somente pequena quantidade de finos passa pelos condutos e vertedouro, esse valor pode variar de 1,1 a 1,3 t/m³. É claro que o conhecimento da bacia e da qualidade dos sedimentos existentes pode permitir ao técnico fazer melhores avaliações.

3.2.1.11 Avaliação do assoreamento total, do volume morto e da vida útil

CARVALHO (2008) recomenda as equações abaixo para cálculo do assoreamento total, do volume morto e da vida útil de um reservatório:

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times Q_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}}$$

E:

$$T = \frac{V_{res}}{S}$$

Sendo:

- S= volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);
- D_{st} = deflúvio sólido total médio anual afluyente ao reservatório (t/ano);
- E_r = eficiência de retenção do sedimento afluyente ao reservatório (% e fração);
- γ_{ap} = peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³);
- Q_{st}= descarga sólida total média afluyente ao reservatório (t/dia);
- T= tempo de assoreamento de um determinado volume (anos);
- V_{res}= volume do reservatório, total ou volume morto (m³).

3.2.1.12 Comparação do assoreamento nos reservatórios de Itaipu – PR e Itiquira – MT

Apresenta-se o Quadro 5 como estudo de caso para que o leitor possa ter uma idéia dos parâmetros utilizados na avaliação do assoreamento ocorrido nos reservatórios de Itaipu no Paraná e Itiquira no Mato Grosso.

Quadro 5 – Avaliação do assoreamento dos reservatórios das UHE's de Itaipu e Itiquira,

Dados	Reservatório de Itaipu (Itaipu Binacional)	Reservatório de Itiquira (Iticon S.A.)
Nível d'água máximo normal	220,00 m	412,00 m
Nível d'água mínimo normal	197,00 m	411,50 m
Nível d'água na soleira da tom. d'água	176,00 m	
Volume no NA máx. normal	$29 \times 10^9 \text{ m}^3$	$4,8 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume no NA mín. normal	$10 \times 10^9 \text{ m}^3$	$4,8 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume morto (na soleira tom. d'água)	$4,7 \times 10^9 \text{ m}^3$	$3,9 \times 10^6 \text{ m}^3$
Vazão média de longo termo Q_{mlt}	9,729 m^3/s	72,9 m^3/s
Comprimento do reservatório	170 km	5.600 m
Equações de transporte de sedimentos	$Q_{st} = 1,704 \times 10^{-31} \cdot Q^{8,9034}$ para $Q < 10000 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{st} = 6,121 \times 10^{-6} \cdot Q^{2,5146}$ para $Q > 10000 \text{ m}^3/\text{s}$ (período de 1988/1989)	$Q_{st} = 46,888 \times Q^{0,9472}$ (período 1979/1982)
Descarga sólida total média anual Q_{st} (obtida da equação e da série de vazões)	71.063 t/dia (período de 1931/1992)	2.715 t/dia (período de 1931/1997)
Deflúvio sólido total médio anual D_{st} ($=365 \times Q_{st}$)	30.788.845 t/ano	990.775 t/ano
Obtenção da eficiência de retenção E_r	Curva de Brune: Capac. Afluência = 0,098	Seg. Roberts (Annandale, 1987), curva de Churchill
	$E_r = 86\%$	
Peso específico aparente γ_{ap}	Seg. Lara e Pemberton 1,13 t/m^3	Seg. Lara e Pemberton 1,5 t/m^3
Volume de sedimento médio anual (calculado a partir da equação de transporte de sedimento e da série de vazões)	$23,37 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	$330.325 \text{ m}^3/\text{ano}$
Tempo de assoreamento do volume total, no NA máx. normal	1240 anos	14 anos
Tempo de assoreamento do volume no NA mín. normal	430 anos	12,7 anos

Quadro 5 – conclusão.

Tempo de assoreamento de um volume igual volume na soleira da tom. d'água (vida útil do reservatório)	200 anos	12 anos
Tempo de assoreamento do volume total considerando aumento do transporte de sedimento desde o ano das medições de descarga sólida (1982)	---	15 meses

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2000a.

3.2.1.13 Métodos de avaliação do assoreamento

Os métodos de previsão da avaliação do assoreamento de um reservatório são funções dos objetivos a serem atendidos. Na fase de inventário o principal objetivo é estimar o tempo de assoreamento total e a vida útil do aproveitamento. Em caso de haver indicação de sérios problemas no tempo de vida útil, então esses estudos podem ser um pouco mais aprofundados para que sejam melhoradas as estimativas econômicas dos arranjos. Nas fases de viabilidade e projeto básico os estudos são mais laboriosos, procurando-se garantir a verificação dos efeitos do assoreamento e as soluções gerais de controle de sedimentos (controle preventivo). Na fase de operação procura-se acompanhar o assoreamento através de levantamentos sistemáticos, monitoramento sedimentométrico, vigilância sobre as transformações na bacia e outros estudos, sempre visando a possibilidade de controle preventivo e, quando não for possível, o controle corretivo mais adequado (CARVALHO, 2000a).

A batimetria consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica. Antigamente eram usados alguns instrumentos simples para a medição de profundidade, como varas e cordas calibradas, com peso na extremidade. Modernamente são utilizadas embarcações providas de sensores (ecobatímetros), cujo principio de funcionamento é baseado na propagação de ondas sonoras (emissão de sinais acústicos) (SPERLING 1999).

A teoria da Hidráulica para o transporte de sedimentos normalmente exige muitas simplificações para avaliação do assoreamento do reservatório. Por outro lado os cálculos matemáticos são muito trabalhosos. Historicamente, métodos empíricos foram

os primeiros a serem desenvolvidos, mas na época atual, pela facilidade do uso do computador, os métodos analíticos começam a ter maior importância (CARVALHO, 2008).

3.2.2 Curva-chave de sedimentos

Vários fatores devem ser conhecidos e considerados ao aplicar-se o método de curva-chave de sedimentos em estudos sedimentométricos. A curva-chave correlaciona a descarga de sólidos em suspensão unicamente com a vazão, mas na realidade esse transporte não depende somente da capacidade do fluxo em transportar os sólidos, mas de outros fatores, tais como a disponibilidade de material mobilizado, que irá depender de eventos anteriores, usos do solo, entre outros. Além do fenômeno da histerese que pode ser provocado inclusive pela disponibilidade de material, mas também por outros fatores. Portanto, além da grande dispersão normalmente observada nas curvas-chave de sedimento, há ainda a não estacionariedade da curva, já que esta muda periodicamente para uma seção. Todos esses fatores impõem restrições e precauções quanto à aplicação da curva-chave de sedimentos que devem ser atentamente observadas para que se conheçam as limitações na aplicação do método (BICALHO, 2006).

Em alguns trabalhos analisados observa-se que a utilização da curva-chave obteve resultados satisfatórios, entretanto para outros há controvérsias quanto à eficiência e a precisão da curva-chave (BICALHO, 2006).

PAIVA *et al.*, (2001) diz que em seu trabalho sobre monitoramento hidrossedimentométrico de uma bacia hidrográfica urbana, não conseguiram determinar a curva-chave de sedimentos, pois a variação da concentração de sedimentos ao longo do tempo apresentou comportamento diferenciado da vazão.

Em seu trabalho de medição de sedimentos SCAPIN (2005) diz que após 13 campanhas realizadas e comparação entre os diversos métodos existentes os dois métodos que incorporam dados medidos de concentração de sedimentos e sedimentos em suspensão: Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955) e Colby (1957) obtiveram os melhores resultados.

CARVALHO (2008) comenta que curvas de transporte de sedimentos relacionam concentração, descarga sólida ou valores derivados de estudos sedimentométricos, em geral, com outras grandezas como tempo, descarga líquida, nível d'água, profundidade, velocidade e demais derivadas de estudos afins.

Na natureza, cada vazão em um determinado momento existe um valor distinto de descarga sólida, concluindo-se que a curva-chave de sedimentos (CCS) não pode substituir os valores reais confiáveis. O uso de curvas-chave é necessário quando os dados diários de vazão são disponíveis e os de sedimentos não o são. A existência da curva permite, assim, um cálculo aproximado de dados diários de sedimento e da descarga sólida média anual. A extrapolação dos dados não observados é pouco aceitável, mas usual (CARVALHO, 2008).

3.2.2.1 Definição da curva-chave de sedimentos

CARVALHO (2008) mostra que é comum traçar a curva-chave de sedimentos em um papel bilogarítmico, procurando interpolar uma ou mais linhas retas entre os pontos. Em seguida, determina-se uma ou mais equações do tipo, $Q_{st} = a \cdot Q^n$, onde Q_{st} é a descarga sólida total, Q a descarga líquida e “a” e “n” são constantes a determinar. A equação da curva-chave de sedimentos deve traduzir adequadamente toda a distribuição de vazão e descarga sólida.

Atualmente a definição destas curvas é feita através do computador de forma rápida e segura utilizando planilhas eletrônicas.

3.2.2.2 Traçado da curva-chave de sedimentos

As CCS podem ser obtidas com valores de concentração ou de descarga sólida, seja suspensão, de arrasto ou total. Quando se plota concentração, a dispersão de valores é maior do que nos demais casos. Quando se plota descarga de arrasto, essa dispersão pode ser pequena. A escolha do tipo de curva vai depender da variável que se quer estimar (CARVALHO, 2008).

Geralmente dados sedimentométricos são divulgados sem a verificação dos erros cometidos ou informações sobre a precisão das metodologias empregadas, porque uma

metodologia correta para a análise de consistência desses dados não está disponível. Durante o processamento dos dados, ao preparar uma curva-chave de sedimentos e verificar dispersão de pontos incoerentes, o operador não deverá simplesmente desprezar dados, mas sim verificar cada documento de cada medição antes de descartar. Os pontos muito distantes da curva média que estejam introduzindo erros, após seu exame, são os que deveriam ser descartados (CARVALHO, 2000b).

As formas de transporte de sedimentos são discutidas separadamente porque o fenômeno não está suficientemente entendido para permitir uma explicação completa e inter-relacionada. Enquanto o transporte em suspensão é uma função predominantemente da velocidade da corrente, o transporte de leito é muito influenciado pelo atrito que atua no seu deslocamento (CARVALHO, 2008).

3.2.2.3 Sedimentos em suspensão e turbidez

A Figura 12 a seguir representa a coleta do sedimento em suspensão.

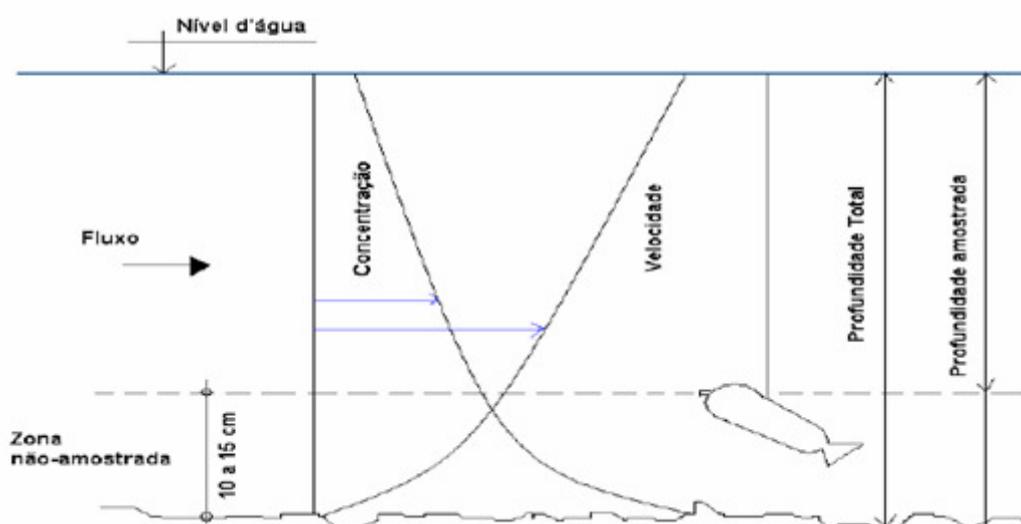


Figura 12 – Zonas de nível d'água, amostragem medida e não medida, numa vertical de amostragem do sedimento em suspensão (GUY e NORMAN, 1970 apud SANTOS et al., 2001).

A utilização da turbidez em estudos sedimentológicos é bastante freqüente na literatura. Sua correlação com a concentração de sedimentos em suspensão consiste em uma forma alternativa de tentar simplificar os trabalhos de campo através da elaboração de uma curva de concentração de sedimentos x turbidez. Mas os trabalhos são bem

claros ao explicitar a cautela necessária nessa correlação, que geralmente só é válida para determinada seção em determinado período e que esta deve ser cuidadosamente calibrada antes de ser aplicada (BICALHO, 2006).

3.2.2.4 Estudos de reservatórios com auxílio de imagens de satélites

Imagens de satélites são utilizadas isoladamente ou comparadas com imagens feitas anteriormente. As imagens Landsat TM são especialmente adequadas para realização de trabalhos visando análises referentes ao assoreamento de reservatórios, no desenvolvimento de vegetação aquática e em processos erosivos nas margens do reservatório e no canal de jusante. Estes produtos são úteis na identificação destas feições pela interpretação das imagens. Podem também ser úteis no direcionamento dos trabalhos de campo. Essas imagens são obtidas pelo satélite periodicamente, permitindo a comparação e análise visando a dinâmica dos processos geomorfológicos e fluviais, e conseqüentemente suas tendências. A interpretação de imagens Landsat TM é processada digitalmente e analisadas em conjunto com dados de curvas de nível obtidos de material cartográfico existentes e mapas temáticos publicados pelo projeto Radam (CARVALHO, 2000a).

3.2.2.5 Valores de produção de sedimentos aceitáveis

Valores de produção de sedimentos altas, como 200 t/km².ano, são muito prejudiciais, podendo afetar o reservatório com depósitos indesejáveis. Segundo critérios internacionais, podem-se considerar os valores do Quadro 6 como indicação para estudos (CARVALHO, 2000a).

Quadro 6 – Valores de produção de sedimentos aceitáveis (CARVALHO, 2000a).

Tolerância	Produção de sedimentos	
	(ton / (mi ² . ano)	(ton / (km ² . ano)
Alta	>500	175
Moderada	200 a 500	70 a 175
Baixa	<100	35

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia e os materiais utilizados na execução deste trabalho são apresentados a seguir e foram divididos em:

- Trabalhos de campo;
- Trabalhos de Laboratório;
- Procedimentos de cálculo e computacionais.

4.1 Trabalhos de campo

Foram desenvolvidas 12 campanhas mensais de campo no período de junho/2008 a maio/2009 para coleta de amostras de sedimentos em suspensão, sedimentos de fundo, leitura do nível da régua para determinar vazão líquida e descarga sólida, nos rios Casca, Quilombo, Roncador e Manso.

Após a coleta no campo o material seguiu para os laboratórios, para determinação da descarga sólida (Físico-Química-UFMT) e da curva granulométrica (Sedimentologia-UFMT).

O cálculo da descarga sólida foi realizado de forma manual através de ábacos e os resultados conferidos posteriormente através do programa de computador denominado Método Simplificado de Colby – 1957, versão 0.2, de março de 1996, elaborado por Jorge Henrique Alves Prodanoff, fornecido por FURNAS.

O início dos trabalhos se deu com a delimitação da área em estudo e a definição dos pontos de medição, e junto à Secretaria Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso – SEMA. Realizaram-se levantamentos de informações sobre o projeto técnico e EIA-RIMA, apresentado pela empresa FURNAS para licenciamento ambiental do APM Manso em Chapada dos Guimarães-MT, como também junto à Agência Nacional de Águas (ANA), todas as informações disponíveis acerca deste empreendimento.

Foram obtidas informações referentes ao monitoramento hidrológico nos principais rios que alimentam o reservatório, a partir do trabalho realizado pela empresa FURNAS, responsável pela operação do reservatório. Obteve-se informações sobre

quais os postos fluviométricos são utilizados por FURNAS, para que este trabalho fosse realizado nos mesmos postos.

Os dados utilizados destes postos foram obtidos através do sítio da Agência Nacional das Águas (ANA), endereço eletrônico (<http://hidroweb.ana.gov.br>) e serviram de base para elaboração da curva-chave de vazão líquida nos quatro rios em estudo. As estações existentes foram utilizadas como seção de medição, coleta e estudo neste trabalho. Definiram-se quatro postos fluviométricos em quatro rios contribuintes do APM Manso, a saber: Rio Casca, Rio Quilombo, Rio Roncador e Rio Manso. Definiu-se então um posto em cada rio de interesse e a campanha de coletas foi realizada durante 12 meses, com coletas mensais.

Para facilitar a escrita e padronizar o roteiro de campo definiram-se neste trabalho estas estações como descrito no Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 – Estações de monitoramento.

Estação C1	Rio Casca
Estação Q2	Rio Quilombo
Estação R3	Rio Roncador
Estação M4	Rio Manso

A metodologia experimental utilizada para realização deste trabalho foi retirada de CARVALHO (2008, 2000a e 2000b), SANTOS *et al.*, (2001), LINSLEY & FRANZINI (1978) e JACCON & CUDO (1989).

Na Figura 13 é apresentada a região hidrográfica delimitada pelo APM Manso e as estações de monitoramento conforme detalhamento exposto no Capítulo 5.

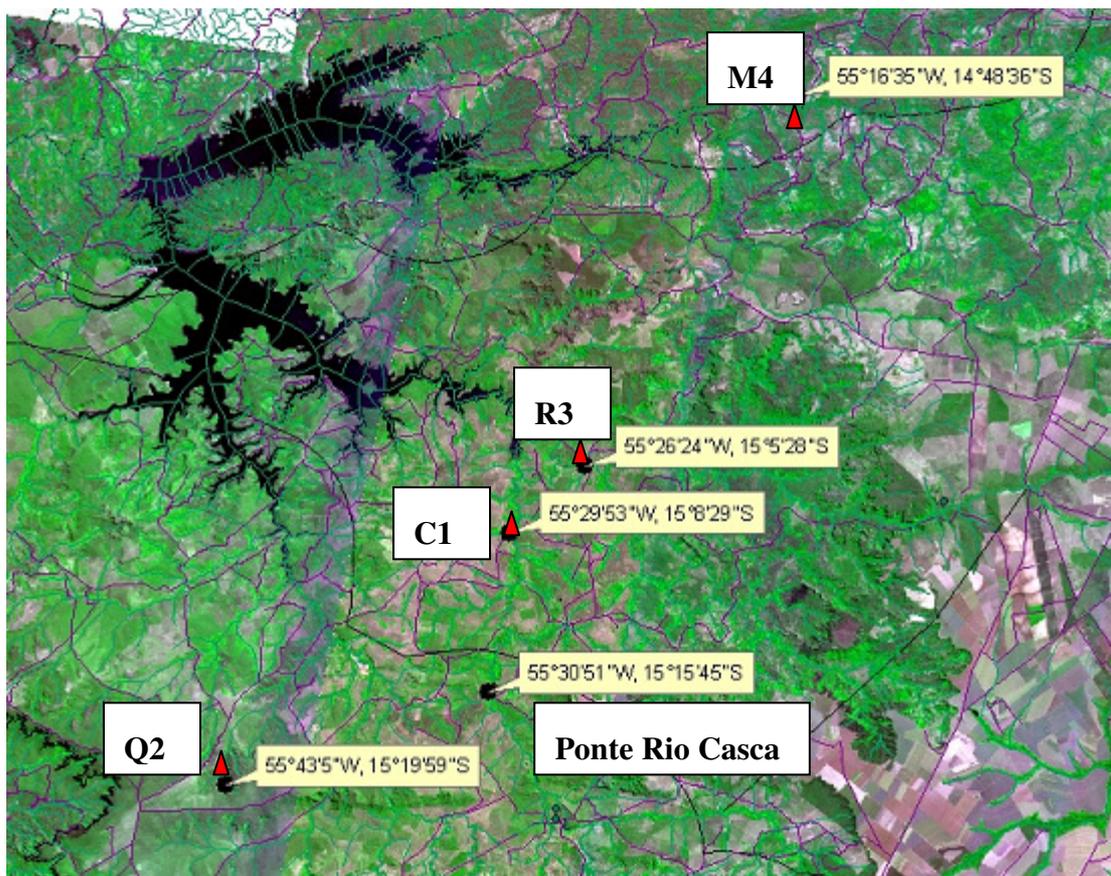


Figura 13 – Bacia hidrográfica definida pelo APM Manso e as estações fluviosedimentométricas monitoradas: C1, Q2, R3 e M4 – Imagem: SEMA/MT com adaptações.

Foi definido o período de 12 meses, pois segundo CARVALHO (2000a), o processamento dos dados visa a obtenção da descarga média e do deflúvio sólido médio anual ou de um período, bem como a obtenção de parâmetros representativos do fenômeno, compreendendo um ciclo de cheia e outro de seca.

Em todas as campanhas foram coletadas amostras para análise dos sedimentos em suspensão e do sedimento do leito, medição do nível na régua em cada estação para determinação da vazão líquida e da descarga sólida do rio, com anotação da pluviosidade mensal na estação.

As amostras foram levadas para Cuiabá, e analisadas nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e de Geologia da UFMT. As amostras de sedimento em suspensão foram encaminhadas ao Laboratório de Análises

Físico-Químicas da Engenharia Sanitária onde se determinou a concentração de sólidos em suspensão por filtração e as amostras do sedimento do leito foram encaminhadas ao Laboratório de Sedimentologia no Departamento de Geologia onde foi determinada através de peneiramento a curva granulométrica.

Os resultados das análises permitiram obter os valores das descargas sólidas diárias (em toneladas/dia), descarga líquida em m³/s, a concentração do sedimento em suspensão em mg/l, e a granulometria do material de fundo.

Após o final das campanhas de campo (12 campanhas) calculou-se a vida útil do reservatório em função da produção de vazão líquida e sólida afluente ao reservatório. Utilizou-se a curva de Brune para se determinar o tempo necessário para o assoreamento do reservatório de Manso, ou seja, o tempo necessário para que o afluxo de sedimentos ocupe o volume do reservatório até a cota da soleira da tomada de água (volume morto). Este tempo foi comparado com a vida útil prevista no projeto na época do licenciamento ambiental da obra.

A seguir é apresentado descrições das estações de monitoramentos com suas respectivas fichas de cadastro junto a Agência Nacional de Águas (ANA).

1 A estação Fazenda Castelona no Rio Casca apresenta código 66171400 (junto a ANA) e foi instalada em 12/02/2000 possuindo série histórica de vazão líquida disponível de 12/02/2000 a 07/12/2001, neste trabalho denominado **C1**.

2 A estação Acorá Man-F7 no Rio Quilombo apresenta código 66174000 (junto à ANA) e foi instalada em 19/02/1987 possuindo série histórica de vazão líquida de 24/08/1998 à 11/03/2001, neste trabalho denominado **Q2**.

3 A estação Fazenda Riacho Doce apresenta código 66171500 (junto a ANA) e foi instalada em 27/02/1999 possuindo série histórica de vazão líquida de 11/11/1999 à 18/06/2007, neste trabalho denominado **R3**.

4 A estação fazenda Corrente Verde apresenta código 66162000 (junto a ANA) e foi instalada em 27/02/1982 possuindo série histórica de vazão líquida de 26/08/1988 a 19/06/2007, neste trabalho denominado **M4**.

AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS

Utilizou-se para a coleta de sedimento em suspensão amostrador integrador da série Norte-Americana (USDH – 59 e USDH – 48) e coletor de material do leito modelo *Rock Island* (Figura 16), tipo caçamba de raspagem, em conformidade com as profundidades e velocidades do curso d'água. Mediu-se a temperatura da água e do ar no início e no final da amostragem.

As coletas de amostras do sedimento em suspensão foram feitas ao longo da seção de medição de vazão líquida, sendo 03(três) amostras em cada seção a 1/6, 3/6 e 5/6 da largura L do rio, com velocidade constante na subida e descida do amostrador.

As amostras de sedimentos em suspensão foram coletadas em recipientes individuais e acondicionadas para transporte ao laboratório devidamente etiquetado. As amostras de sedimento do leito foram embaladas em sacos plásticos individuais etiquetados e acondicionadas para transporte.

De acordo com a velocidade do rio escolheu-se o amostrador adequado para coletar as amostras, nas três verticais ao longo da seção de medição e coleta.

No laboratório de físico-química determinou-se a concentração média dos sólidos em suspensão e através do peneiramento determinou-se a curva granulométrica do sedimento de fundo no laboratório de sedimentologia.

Para a determinação da vazão líquida foi calculada a equação da curva-chave, de em cada estação a partir da série existente. Foram utilizados dados de: área molhada, largura, velocidade média, profundidade média e utilizou-se interpolação linear dos dados obtidos nas séries históricas das estações, que estão disponíveis no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA) endereço eletrônico: [http://www.ana.gov.br\(hidroweb\)](http://www.ana.gov.br(hidroweb)). A determinação da curva chave foi feita a leitura das réguas nas estações permitindo o cálculo da vazão líquida.

MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA EM RIOS

Foram realizadas medições com molinetes sobre pontes para comparação com os valores de vazão líquida obtida através da curva chave definida para cada rio.

A Figura 14 ilustra as pontes onde foram feitas as medições de vazão líquida e coleta de sedimentos em suspensão, nos rios Casca (C1), Quilombo (Q2), Roncador (R3) e Manso (M4).



Figura 14 – Ilustração da medição de vazão líquida sobre ponte, estações C1, Q2, R3 e M4.

Foto: Pedro Rocha-UFMT.

As medições da velocidade para a obtenção da vazão líquida deste trabalho foram feitas em pontes utilizando o Molinete Fluviométrico, marca Hidromec, modelo Newton 22057 (equação $v = 0,2799N + 0,0046$) e contador de pulsos digitais. Estas medições foram realizadas em agosto e setembro de 2008 e janeiro e maio de 2009 sobre pontes dos Rios (Casca, Quilombo, Roncador e Manso) próximas as estações monitoradas como ensina PORTO *et al.*, (2003).

Os resultados das medições com molinete sobre as pontes foram utilizados para comparação com os dados disponíveis nas séries históricas das seções em estudo, e

também para aferir o nível de consistência dos valores de vazão líquida obtidas através da curva chave definida para cada rio.

Os Rios Quilombo e Roncador apresentam pontes próximas as seções de medições enquanto nos Rios Casca e Manso estas pontes estão situadas a montante das seções de medições.

Observou-se que os valores medidos de vazão líquida nas pontes apresentavam valores próximos aos calculados pela curva chave, e as seções de medições existentes apresentavam forma geométrica regular sem erosão de taludes, aprofundamento do canal do rio ou assoreamento, fato este que permitiu a validade das curvas chaves definidas anteriormente.

COLETAS DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

A Figura 15 ilustra os coletores de sedimentos em suspensão utilizados no trabalho de campo.



Figura 15 – Coletor USDH-59 (Fotos 1 e 2) utilizado em velocidades altas e coletor USDH-48 (Fotos 3 e 4) utilizado em velocidades baixas para coleta de sedimentos em suspensão. Foto: Pedro Rocha – UFMT.

As coletas de sedimentos em suspensão objetivaram a determinação da concentração de sedimentos em suspensão na seção e a posteriormente calculada a descarga sólida em suspensão.

As coletas foram feitas com amostrador de sedimentos em suspensão USDH-48 e USDH-59 (Figura 15) com o objetivo de coletar amostras integradas na profundidade durante as medições de descargas líquidas e sólidas.

As amostras coletadas para medida da descarga sólida em suspensão contêm as cargas de sedimento dissolvido e em suspensão transportadas pelo rio. Essas amostras devem ser obtidas de forma a representar a média em toda a seção do rio quanto à concentração e a sua granulometria.

COLETAS DE SEDIMENTO DE FUNDO

As coletas de sedimento de fundo foram feitas através do amostrador *Rock Island* e foram realizadas apenas em três estações a saber: Rio Casca (Q1), Rio Roncador (R3) e Rio Manso (M4).

O Rio Quilombo é um rio de leito rochoso e não apresenta sedimentos de fundo em sua seção de medição (Q2).

Desta forma o estudo relativo ao sedimento de fundo apresentado neste trabalho refere-se ao sedimento depositado as margens dos rios a poucos centímetros de profundidade.



Figura 16 – Amostrador Rock-Island ou AMF2. Foto: Valmir J. Silva.

CAMPANHAS DE CAMPO

As fotografias da Figura 17 ilustram a equipe em trabalho de campo.



Figura 17 – Ilustração da equipe e do veículo utilizado nas campanhas de campo com equipamentos utilizados. Foto: Pedro Rocha – UFMT.

ROTEIRO

O roteiro de campo foi desenvolvido na seguinte ordem:

No primeiro e segundo dia foram realizadas coletas em Chapada dos Guimarães – MT – S 15° 27' 38'' W 55° 44' 59'', Altitude 811 m; nos rios Cascas, Quilombo e Roncador, com pernoite em Campo Verde – MT – S 15° 32' 43,51'' – W : 55° 10' 02,61'', Altitude: 736m. No terceiro dia eram realizadas as coleta em Nova Brasilândia – MT – S 14° 55' 47,6 W: 54° 58' 24,4'', Altitude: 328m no Rio Manso. Cada etapa de campo foi realizada em três dias consecutivos e percorridos aproximadamente 1100 km em cada campanha realizada.

SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE FUNDO, AMOSTRAS DE CAMPO

A Figura 18 ilustra o sedimento coletado em campo em suspensão e de fundo antes do processamento no laboratório.

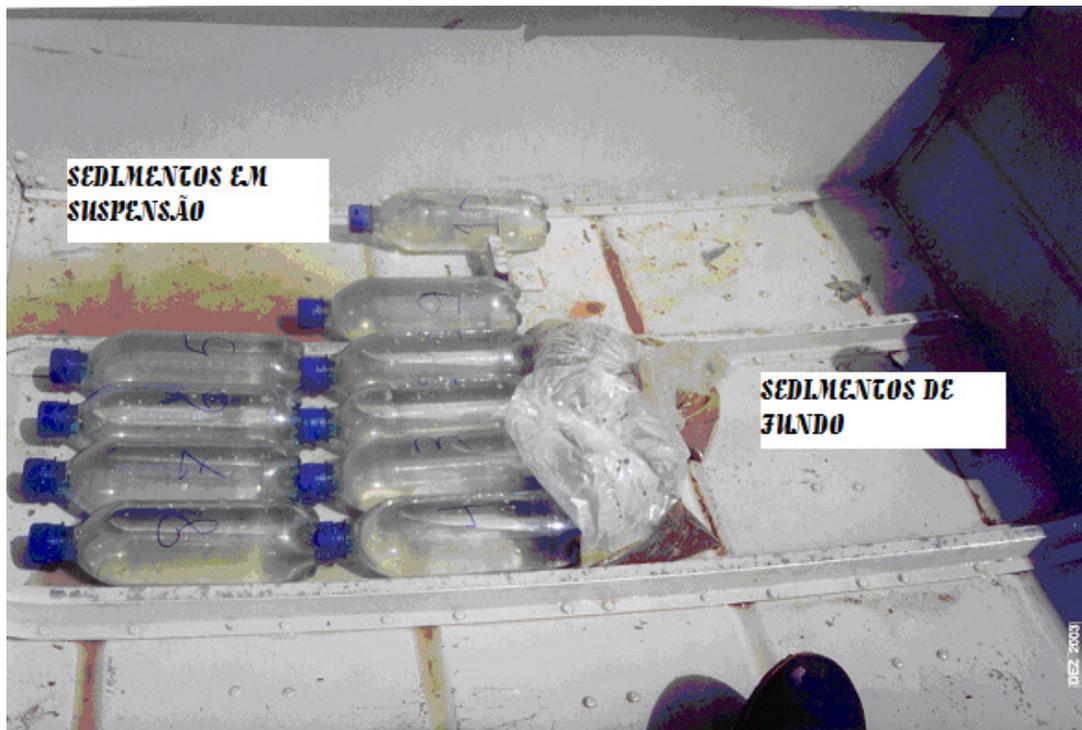


Figura 18 – Material coletado em campo, sedimento em suspensão e de fundo.

4.2 Trabalho em laboratório

Classificação granulométrica

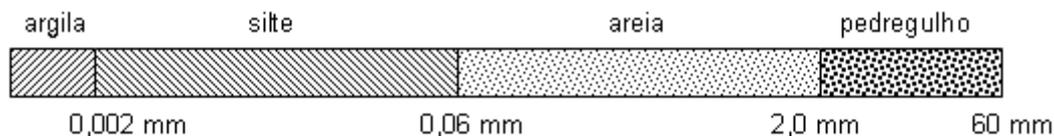


Figura 19 – Classificação granulométrica do sedimento de Arraste ou de Leito (ABNT-NBR 6502/95).

Na avaliação do material de leito, utilizou-se a análise granulométrica para identificar o tamanho das partículas ou grãos e a distribuição dos diâmetros dos grãos em porcentagem.



Figura 20 – Sedimento de arraste ou leito nas estações, C1, R3 e M4. Foto: Valmir J. Silva

As amostras dos sedimentos foram secadas na estufa a 100°C por 24 horas. Em seguida, desagregaram-se completamente os torrões no almofariz com auxílio de dispositivo mecânico, para evitar possíveis alterações no tamanho natural das partículas individuais das amostras.

Dando continuidade ao processamento, realizou-se o quarteamento, visando obter-se amostra representativa de aproximadamente 1.000g, realizou-se classificação granulométrica com utilização de peneiras de malhas: #64, #32, #16, #8.0, #4.0, #2.0, #1.0, #0.5, #0.25, #0.125, #0.062, #0.032, #0.016 e #0.010mm, incluindo tampa e fundo de acordo com as especificações da norma NBR 7181/84 - “Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos”.

As amostras representativas foram colocadas na bateria de peneiras *Tyler* e depois de concluído seu peneiramento foi realizada pesagem do material retido em cada uma das peneiras. Em seguida é realizado o cálculo da percentagem desse material retido em cada peneira e sua distribuição em percentagem, finalmente são construídas as referidas curvas granulométricas, bem como são definidos os diâmetros representativos.

A Figura 21 mostra a seqüência do processo de elaboração das curvas granulométricas:

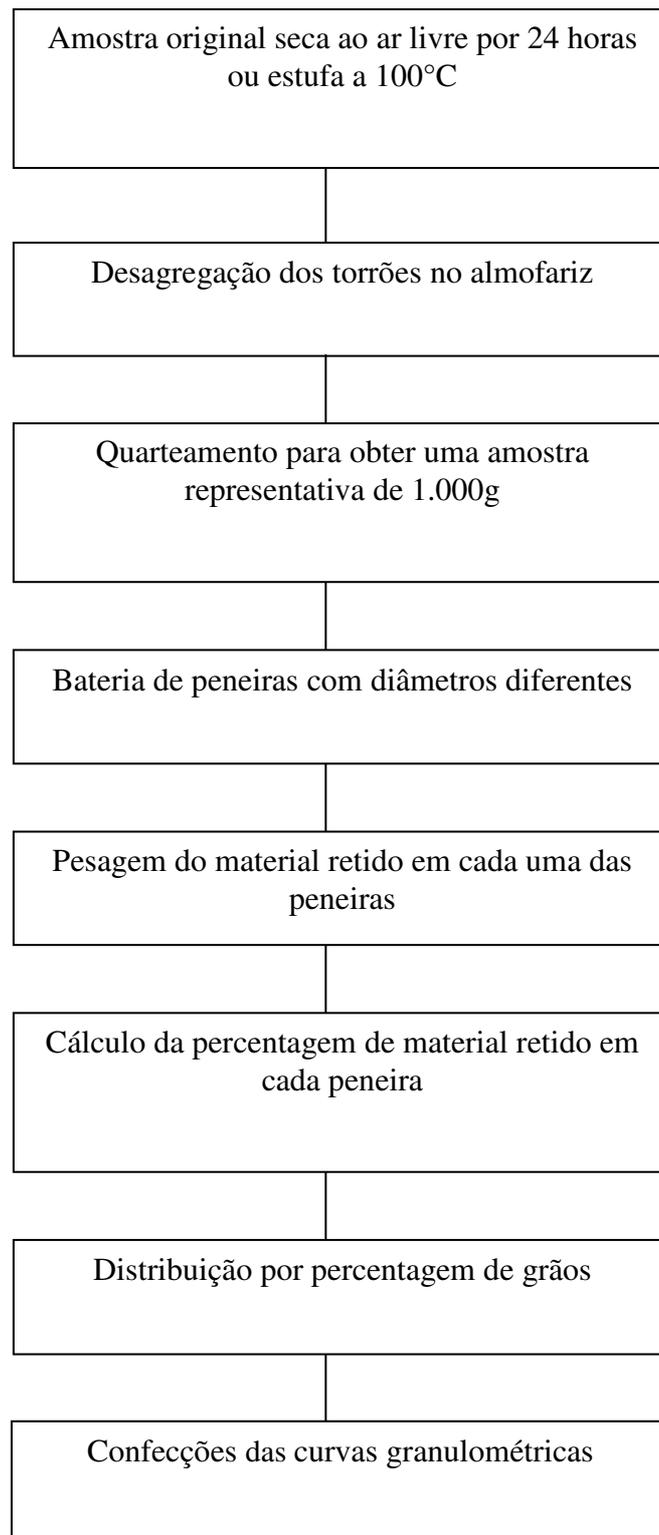


Figura 21 – Fluxograma das curvas granulométricas.

A Tabela 1 apresenta a relação dos equipamentos utilizados na execução do trabalho.

Tabela 1 – Relação de equipamentos utilizados.

Quant.	Unid.	Especificação
1	Um	Molinete fluviométrico
1	Um	Haste para molinete
1	Um	Lastro de chumbo de 15kg
1	Um	Contador de rotação digital para molinete
20	M	Fio paralelo de 0.6 mm
1	Um	Sarilho pequeno para fio
1	Um	Sarilho médio para corda
250	M	Corda de polipropileno (8 mm)
50	M	Corda de nylon grossa
1	Um	Amostrador de sedimento em suspensão – U.S. DH – 59
1	Um	Amostrador de sedimento de fundo - raspador
20	Fr	Frasco de coleta de 400ml para sedimento em suspensão
20	SC	Saco plástico para sedimento de leito
1	Um	Estufa para 100°C
1	Um	Mufla pra 500°C
1	Um	Dessecador
1	Um	Aparelho para filtração (Milipore)
1	Cx	Membrana de fibra de vidro Milipore 0,45
1	Um	Bomba de vácuo
1	Um	Balança analítica com precisão de 0.1 mg
2	Um	Caixa para transporte de amostras
1	Um	Termômetro digital

Para a avaliação da concentração de sedimentos em suspensão, utilizou-se metodologia tradicional, por filtração, bomba a vácuo e utilização de membrana filtrante marca *Millipore* (fibra de vidro) com diâmetro de 4,7 cm (47 mm) e poros com diâmetro de 0,47 micrômetros (μm), calcinada em mufla a 500° C.



Figura 22 – Amostrador US.DH-48. Foto: Valmir J. Silva.

No amostrador UDH-48 o volume utilizado na análise é de 400 ml por amostra. A pesagem da membrana seca (P_0) é efetuada em balança analítica, com filtração a vácuo e secagem em estufa a 100°C. Em seguida, a membrana é colocada para esfriar em dessecador e pesada novamente em balança analítica com sedimento – (P_1), para obtenção dos resultados finais das concentrações em mg/l ou ppm.

A Figura 23 mostra os procedimentos descritos anteriormente em sua ordem específica de execução.

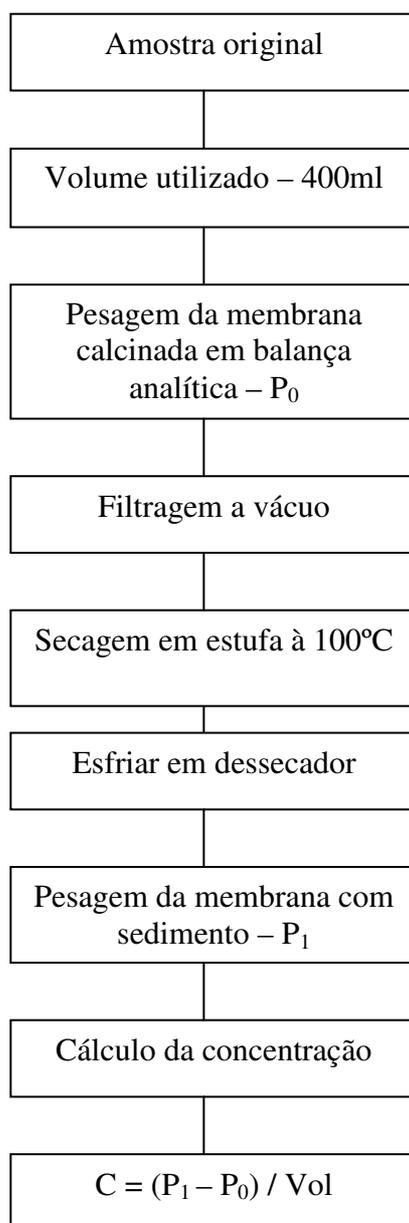


Figura 23 – Fluxograma da análise do sedimento em suspensão.

Equipamentos de laboratório

A Figura 24 mostra equipamentos necessários para determinação da concentração dos sedimentos em suspensão:



Figura 24 – Membranas em cápsulas de porcelana no dessecador (Foto 1), Mufla (Foto 2), Bomba a vácuo e conjunto de filtragem (Foto 3), Estufa (Foto 4), Balança Analítica (Foto 5).
Foto: Pedro Rocha – UFMT.

Procedimentos no laboratório de sedimentologia, para determinação da curva granulométrica



Figura 25 – Pesagem do sedimento (Foto 1), Destorroamento do sedimento em almofariz (Foto 2), Peneiramento (Foto 3), Vista da bancada do laboratório (Foto 4). Foto: Pedro Rocha. UFMT

4.2 Procedimentos de cálculo e computacionais

Cálculo de descarga sólida

O método de *Colby* foi desenvolvido com base no método de *Einstein modificado*, que estabeleceu diversas relações empíricas para estimar a descarga total de sedimentos.

Este método requer a determinação precisa da vazão líquida, área da seção molhada, largura, profundidade média, concentração média de sedimento em suspensão e velocidade média, uma vez que a carga não medida é muito sensível à variabilidade das velocidades.

O método de *Colby* (1957) foi descrito por *Carvalho, N. O.* (1984) como segue:

A descarga sólida total é acumulada pela soma da descarga sólida medida, Q_{sm} , com a descarga sólida não medida, Q_{nm} :

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm}$$

O cálculo de Q_{sm} é feito pela equação:

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C's$$

Onde:

Q_{sm} – descarga sólida medida (t/dia);

Q – descarga líquida em m^3/s ;

$C's$ – concentração de sedimentos em suspensão.

O cálculo de Q_{nm} é feito por ábacos a partir do conhecimento da velocidade média (m/s), da profundidade média em metros (m), da concentração medida (ppm ou mg/l) e da largura de seção (m), adotando-se o seguinte procedimento:

Obtêm-se a descarga sólida não medida aproximada, por unidade de largura, q'_{nm} , do ábaco:

- a) Obtêm-se a concentração relativa, C_r , do ábaco a partir da velocidade média e da profundidade;
- b) Calcula-se a razão de eficiência: $e = C's/C_r$;
- c) A partir de $C's/C_r$, obtêm-se no ábaco o fator de correção k na linha média 1;
- d) Calcula-se a descarga sólida não amostrada pelo produto de q'_{nm} , pelo fator de correção k e pela largura de seção: $Q_{nm} = q'_{nm} \cdot L \cdot k$.

Este método foi escolhido, pois segundo CARVALHO (2008), o método simplificado de Colby é vantajoso devido à simplicidade e ao uso de poucos dados. Torna o trabalho de sedimentometria econômico e fácil, pois necessita apenas de dados de medição de descarga líquida e da concentração de sedimentos em suspensão, diminuindo muito o trabalho de laboratório e de escritório.

Para definição do método COLBY (1957) levou em conta os seguintes motivos:

1. As estações de monitoramento já dispunham de séries históricas disponíveis que possibilitaram avaliação e comparação dos dados obtidos;
2. Inexistência em Cuiabá e/ou no estado de Mato Grosso de laboratório com capacidade para fornecimento dos dados necessários para cálculo do método modificado de Einstein;
3. Distância entre os pontos de monitoramento e dificuldade de acesso as estações fluviométricas.

De posse dos resultados foram feitas comparações objetivas e pontuais entre os valores encontrados no projeto do APM Manso em sua fase inicial, e os valores encontrados neste trabalho.

SCAPIN (2005) diz que os métodos de Einstein modificado por Colby e Hembree (1955) e Colby (1957), apresentaram melhores resultados por que são métodos que usam dados medidos de concentração de sedimentos em suspensão, ao contrario dos demais. Por isso seus resultados podem ser comparados entre si, na escolha do melhor deles, mas não podem ser comparados com resultados obtidos pelos métodos de estimativas.

Criação dos mapas APM Manso

Mapa Imagem (localização)

As imagens da área da Bacia Hidrográfica do Rio Manso (BHRM): SD-21-15 e SD-21-10 foram adquiridas na Rede Internacional de Computadores no sítio do INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais (www.inpe.br), sendo as mesmas originadas do satélite

LANDSAT ano de 2000. Foi realizada a composição de bandas espectrais, a fim de visualizar as feições e suas respectivas cores. Em seguida, foi realizado o mosaico das imagens, visto que são duas imagens e as mesmas deveriam ser unidas para a realização dos seguintes passos. (Esses processos foram feitos em ambiente ArcGis, da família de softwares GIS, produzido pela *ESRI – Environmental Systems Research Institute*).

A base de dados utilizada foi a da SEPLAN/MT – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação geral, que realizou o processo de ZEE – Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado de Mato Grosso. Os dados utilizados foram: da rede de drenagem do estado de Mato Grosso; base de municípios do estado de Mato Grosso e a base de estradas pavimentadas e não pavimentadas do mesmo estado. A delimitação da Bacia em questão foi realizada seguindo os topos de morro das curvas de nível, separadas de 10 em 10 metros, de base SEPLAN.

Os pontos (estações) de coletas foram definidos através de GPS de navegação em visitas de campo no modo “coordenados geográficas” (grau, minuto, segundo) e transformados em ambiente TRACMAKER, *software* de leitura edição de pontos medidos com GPS, para coordenadas projetadas UTM, a fim de melhor visualizar as distâncias em metros. As coordenadas geográficas de cada estação foram adicionados à imagem e os dados foram sobrepostos em ambiente ArcGis com elaboração do layout final.

Mapa de Solos

O mapa de solos foi realizado utilizando-se como base de dados, a carta de Pedologia do Estado de Mato Grosso (Mapa A001, escala: 1:1.500.000, Ano 2001). Fonte: www.seplan.mt.gov.br, e junto ao mesmo mapa foi sobreposta a rede hidrográfica do estado e os pontos (estações) de coletas.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 O Reservatório

A barragem foi originalmente concebida em 1975, pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, com uma obra específica para redução de cheias em Cuiabá e regularização de vazões com fins de navegação. Seu principal motivo foi a grande enchente ocorrida em março de 1974, nas cidades de Cuiabá, Várzea Grande, Nobres, Rosário Oeste, Acorizal, Guia, Santo Antônio do Leverger e Barão de Melgaço, afetando diretamente cerca de 12.000 pessoas. Com a crescente demanda de energia elétrica na região, o projeto incorporou a geração hidrelétrica, mantendo os benefícios do projeto original (SILVA, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2003).

OLIVEIRA (2003) diz que o histórico da construção do APM Manso é marcado por duas fases: a primeira, em setembro de 1988, quando se deu o início das obras. A segunda, após paralisação de quase 10 anos, marcada pela retomada das obras em fevereiro de 1998. Nesta fase, já com a participação da iniciativa privada em parceria com a ELETRONORTE, em decorrência de mudanças ocorridas devido ao processo de privatização do setor elétrico brasileiro. Como fruto de concorrência internacional, foi selecionado o Consórcio PROMAN, formado pelas empresas Construtoras Norberto Odebrecht S.A., SERVIX Engenharia S.A., e PESA - Participações Energéticas S.A., para participar como parceiro do empreendimento, com 30% do total de investimentos. Em 01/02/1999, os outros 70% passaram a ser de responsabilidade de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

A estrutura física do reservatório APM manso está localizado nas coordenadas geográficas 14° 50' 27”S; 55° 47' 30”W no município de Chapada dos Guimarães-MT na região centro sul do estado de mato grosso.

O reservatório do APM Manso ocupa cerca de 263 km² do município de Chapada dos Guimarães, 58 km² do município de Nova Brasilândia e 66 km² do município de Cuiabá, estendendo-se, a partir da barragem, por aproximadamente 50 km para leste e sudeste, em direção às nascentes dos Rios Manso e Casca, respectivamente (FURNAS 2002).A Figura 26 apresenta a área de estudo bem como as estações de monitoramento.

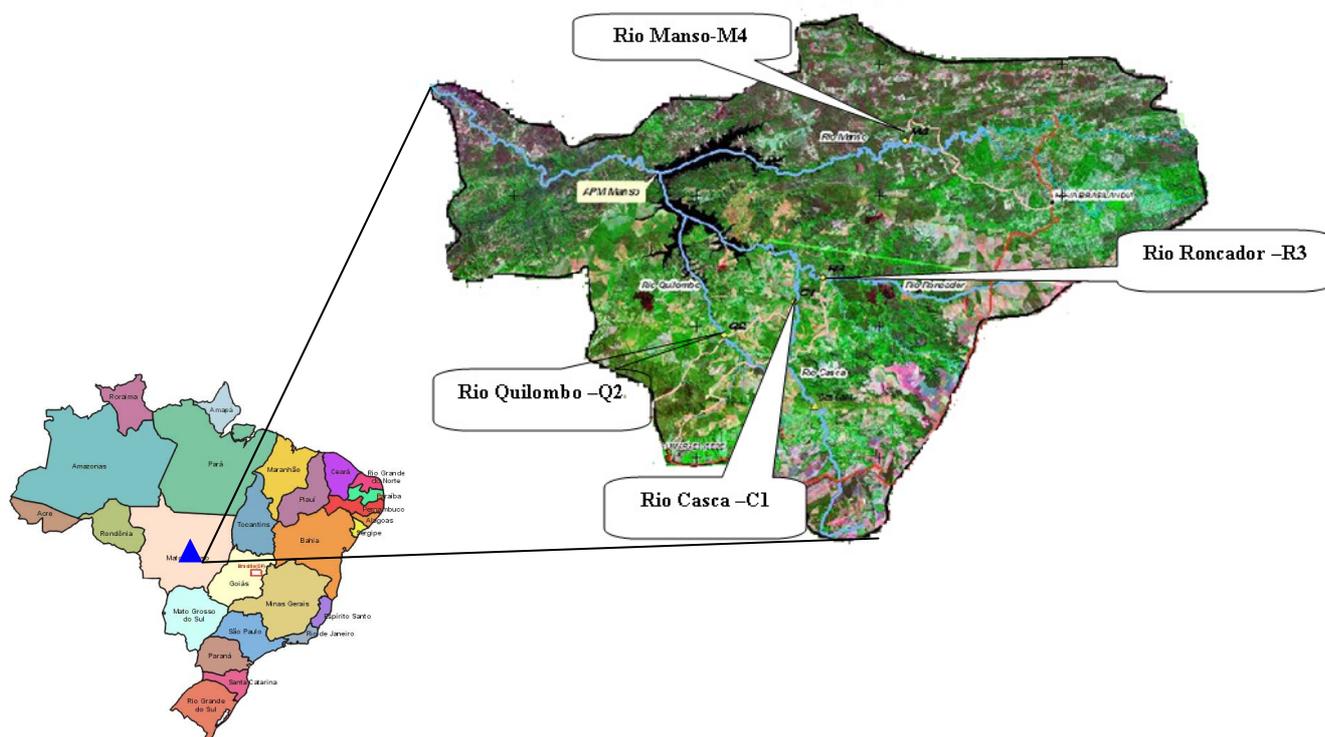


Figura 26 – Área de estudo: Localização do APM Manso e Aspectos Fisiográficos.

A área em estudo compreende os municípios de Chapada dos Guimarães, Nova Brasilândia e Campo Verde em Mato Grosso.

Ainda citando FURNAS (2002), a bacia hidrográfica delimitada pelo APM Manso apresenta uma área total de 9365 km² sendo 427 km² de área alagada pelo reservatório.

A área situada a montante do reservatório apresenta 5833 km² sendo 45% referente a bacia do Rio Manso e 55% a bacia do Rio Casca (20% Rio Casca, 11% Rio Quilombo, 24% Rio Roncador).

O Quadro 8 a seguir apresenta um resumo das especificações técnicas do APM Manso.

Quadro 8 – Resumo das especificações técnicas do APM Manso (FURNAS, 2002).

Bacias Hidrográficas Contribuintes	Rio Manso e Rio da Casca
Municípios	Chapada dos Guimarães, Nova Brasilândia, Campo Verde
Área de Inundação	427 Km ²
Início da Inundação	30 de novembro de 1999
Capacidade Energética	210 Mw
Turbinas (4)	Eixo vertical, Francis. PN. 52,5MW
Construtora	Centrais Elétricas do Norte–Eletronorte Furnas-Centrais Elétricas S.A
Função	Gerar Energia, Regularizar a vazão do Rio Cuiabá e Promover Turismo e o Lazer
Volume Total	7,3 Bilhões m ³
Volume útil	2,3 Bilhões m ³
Volume morto	5,0 bilhões m ³
Altura da Água	287 m (cota max.). 278 m (cota mín.)
Vazão Media de Longo Termo	170 m ³ /s
Vazão Mínima Registrada	53,7 m ³ /s (setembro/1972)
Vazão Máxima Registrada	2 162 m ³ /s (março/1974)

Apresentam-se a seguir nas Figuras 27 e 28, vista a jusante do reservatório e o mapa de localização do APM Manso com delimitação de bacia hidrográfica, principais municípios, principais rios formadores e estações de monitoramento utilizadas neste trabalho.



Figura 27 – APM Manso vista de jusante em ponte sobre o Rio Manso (visualização de vertedores, casa de força e canal de fuga).

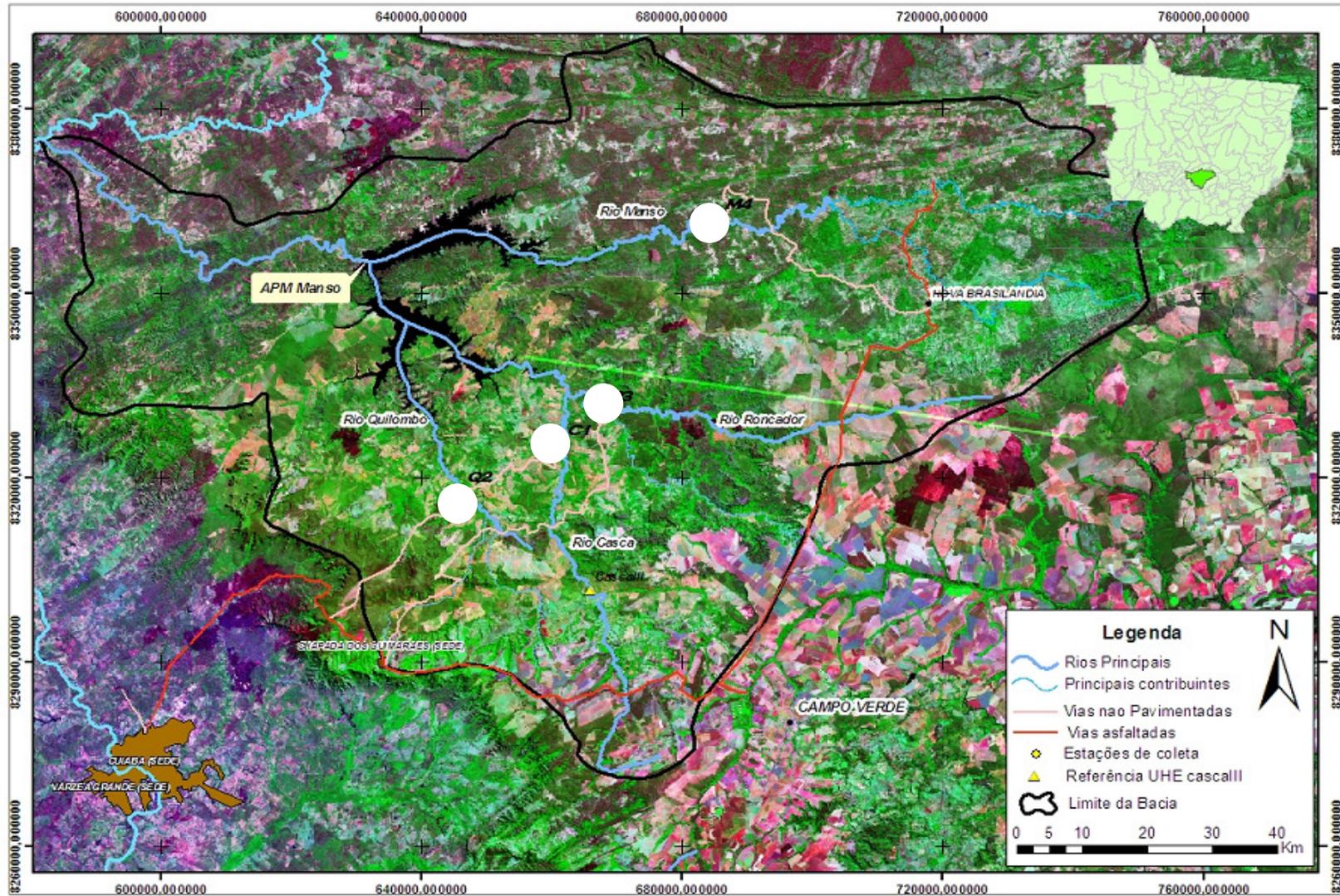


Figura 28 – Mapa de situação da Bacia Hidrográfica do APM Manso, base cartográfica SEPLAN-MT, Datum horizontal SAD-69.

5.2 Geologia

A região de interesse do APM Manso engloba partes de duas unidades geotectônicas bem diferenciadas: o Cinturão Orogênico Paraguai-Araguaia e a Bacia Sedimentar do Paraná, as quais estão parcialmente encobertas por sedimentos terciários em locais de topografia elevada, bem como por aluviões atuais, restritos aos leitos dos rios e localmente em estreitas planícies de inundação (FURNAS 2002).

Nas litologias do Cinturão Orogênico, particularmente do Grupo Cuiabá foram implantada as obras principais e a parte norte do reservatório do APM Manso, correspondendo à sub-bacia do rio Manso. Elas formam também a quase totalidade da área a jusante da barragem, onde se desenvolvem os terrenos marginais dos rios Manso, Cuiabá e dos seus principais afluentes, com respectivas bacias (FURNAS 2002).

Nas litologias da Bacia Sedimentar do Paraná, particularmente nas formações Botucatu e Bauru foram implantadas a parte restante do reservatório, compreendendo as sub-bacias dos rios Casca e Quilombo, bem como as comunidades que foram implantadas nesta última sub-bacia, para atender às relocações da população deslocada da área do reservatório (FURNAS 2002).

5.3 Hidrologia

Na Figura 28 pode-se observar que o Rio Manso e o Rio Roncador apresentam escoamento no sentido leste-oeste enquanto o Rio Casca e o Rio Quilombo correm no sentido sul-norte.

Na região de Campo Verde localizam-se as nascentes dos rios: Casca, Roncador e São Lourenço outro importante rio formador do pantanal mato-grossense, mas sem interesse específico neste trabalho.

Na Chapada dos Guimarães nasce o Rio Quilombo e em Nova Brasilândia nasce o Rio Manso.

O Reservatório é formado por duas bacias hidrográficas distintas, a do Rio Manso e a do Rio Casca, que tem como afluentes principais o Rio Quilombo e o Rio Roncador.

Desta forma o APM Manso é alimentado por quatro rios com regimes hidrológicos e sedimentológicos diferenciados nos quais se implantou as estações de monitoramento: **Q1** (Rio Quilombo-Fazenda Estivado), **C2** (Rio Casca – Fazenda Castelona), **R3** (Rio Roncador – Fazenda Riacho Doce) e **M4** (Rio Manso – Fazenda Corrente Verde).

A sub-bacia do rio Manso, a montante da foz do rio Casca, com área de drenagem de 4.251 km², cerca de 55% da área controlada pela barragem, com solos de baixa permeabilidade (metassedimentos de fácies finas), que, durante a estação chuvosa, contribuem para a formação de grandes cheias nos rios Manso e Cuiabá. Por outro lado, durante a época de estiagem, proporcionam descargas extremamente reduzidas (OLIVEIRA, 2003 *apud* LIMA, 2005).

O Rio Quilombo tem seus principais contribuintes o Rio Cachoeirinha, cujas nascentes localizam-se em Chapada dos Guimarães pela margem esquerda e o Rio Lagoinha pela margem direita.

O Rio Roncador tem como seu principal contribuinte o Rio Jangada pela sua margem esquerda.

O Rio Manso é formado pelo Rio Finca Faca pela margem esquerda e pelo Rio dos Cavalos pela margem direita no município de Nova Brasilândia.

O rio Casca, devido às condições geológicas de sua bacia, com solos com grande porosidade, apresenta, no período de estiagem, descargas específicas extremamente elevadas em comparação com as dos outros rios da região. A bacia do rio Casca é formada por uma camada de solo colúvio/residual arenoso com altas porosidades e permeabilidade e por formações areníticas, subjacentes, com porosidade mais reduzida e baixa permeabilidade (FURNAS, 2002).

5.4 Climatologia

A classificação de Strahler, que leva em consideração as massas de ar dominantes e as chuvas, identifica em Mato Grosso: o clima equatorial quente-úmido, dominado pela massa equatorial continental (1 a 3 meses), no extremo norte; e o clima

tropical seco-úmido, dominado pela massa tropical continental, no restante do estado (MORENO e HIGA, 2005).

Segundo OLIVEIRA (2003), os postos pluviométricos a montante do APM Manso apresentam características de chuvas predominantemente convectivas.

A precipitação pluviométrica é caracterizada por três tipos distintos de chuvas: convectivas, ciclônicas e orográficas (AYOADE, 1991).

LIMA (2005), após estudos em 10 pluviômetros da bacia hidrográfica diz que a precipitação acumulada anual média para a bacia do Manso é de 1.591,2 mm, da qual 64% (1.020,0 mm) ocorrem durante a estação chuvosa da região. Quanto à variação espacial das chuvas na bacia do Manso, as maiores taxas anuais ocorreram nas porções leste e sul da bacia, sendo o máximo observado na região da Chapada dos Guimarães, 2.268,8mm, porção mais alta da bacia, em torno de 800m de altitude.

5.5 Vegetação

Nos limites territoriais de Mato Grosso estão contidos três grandes domínios biogeográficos: os Cerrados, as Florestas e o Pantanal, os quais se encontram inseridos na região de clima tropical e equatorial (MORENO E HIGA, 2005), sendo que na região de estudo temos vegetação de Cerrado e clima tropical.

As distâncias de cada estação ao eixo do reservatório de Manso foram definidas através de medições feitas no sistema *Google Earth*® que são respectivamente: Estação C1 dista 42 km, Estação Q2 dista 41 km, Estação R3 dista 44 km, Estação M4 dista 55 km.

Apresenta-se a seguir a Figura 29 com visualização das estações de monitoramento da área dos rios onde foram instalados os pontos de monitoramento.

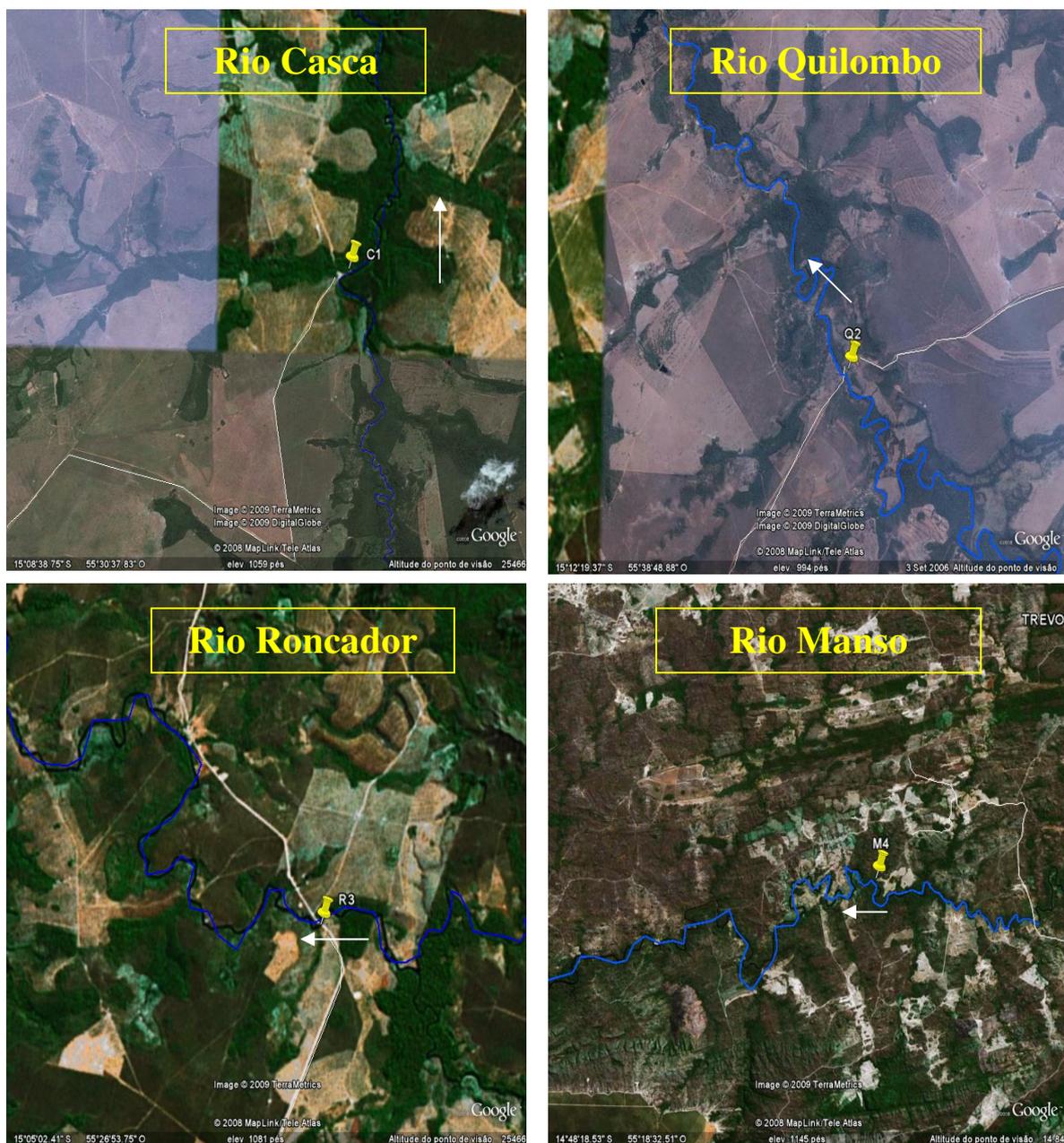


Figura 29 – Imagem de satélite mostrando em destaque: vegetação, morfologia dos Rios: Casca, Quilombo, Roncador e Manso nas estações (C1, Q2, R3 e M4) e sentido do fluxo.

5.6 Solos

Na Figura 30 é apresentado um mapa da região hidrográfica em estudo com visualização dos diferentes tipos de solos encontrados. A região hidrográfica do APM Manso apresenta os seguintes tipos de solos: Areias Quartzosas, Cambissolo, Gleí Pouco Humico, Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico, Latossolo Vermelho-Escuro,

Solos Concrecionários Cambicos, Solos Concrecionários Latossolicos, Solos Litólicos, Solos Orgânicos.

Existe a predominância de Areias Quartzosas no eixo sul localização da bacia do Rio Casca (Bacia Sedimentar do Paraná) e Cambissolos no eixo norte localização da bacia do Rio Manso formação Grupo Cuiabá.

Os Cambissolos e Neossolos Litólicos ocupam 10% da área do Cerrado. Os Neossolos Litólicos eram anteriormente chamados de Solos Litólicos. Uma das principais características dos Cambissolos e Neossolos Litólicos é serem pouco profundos e, muitas vezes, cascalhentos. Estes são solos "jovens" que possuem minerais primários e altos teores de silte até mesmo nos horizontes superficiais. O alto teor de silte e a pouca profundidade fazem com que estes solos tenham permeabilidade muito baixa (UFLA, 2009).

Os Cambissolos e Neossolos Litólicos estão espalhados por todo o Cerrado, mas eles só aparecem em áreas onde o relevo é movimentado como em morros, serras e sopés de chapadas. Embora existam Cambissolos e Neossolos Litólicos muito férteis em outras regiões do Brasil, no Cerrado estes solos são distróficos (porcentagem da saturação por bases é inferior a 50%, solos de fertilidade média ou baixa fertilidade) e quase sempre muito ácidos. A baixa profundidade, a grande quantidade de cascalho e o relevo inclinado são impedimentos sérios à mecanização. O maior problema, no entanto, é o risco de erosão. Devido à baixa permeabilidade, sulcos são facilmente formados nestes solos pela enxurrada, mesmo quando eles são usados com pastagens. A maioria dos pedólogos acha que os Cambissolos e Neossolos Litólicos do Cerrado devem ser deixados como área de preservação natural (UFLA, 2009).

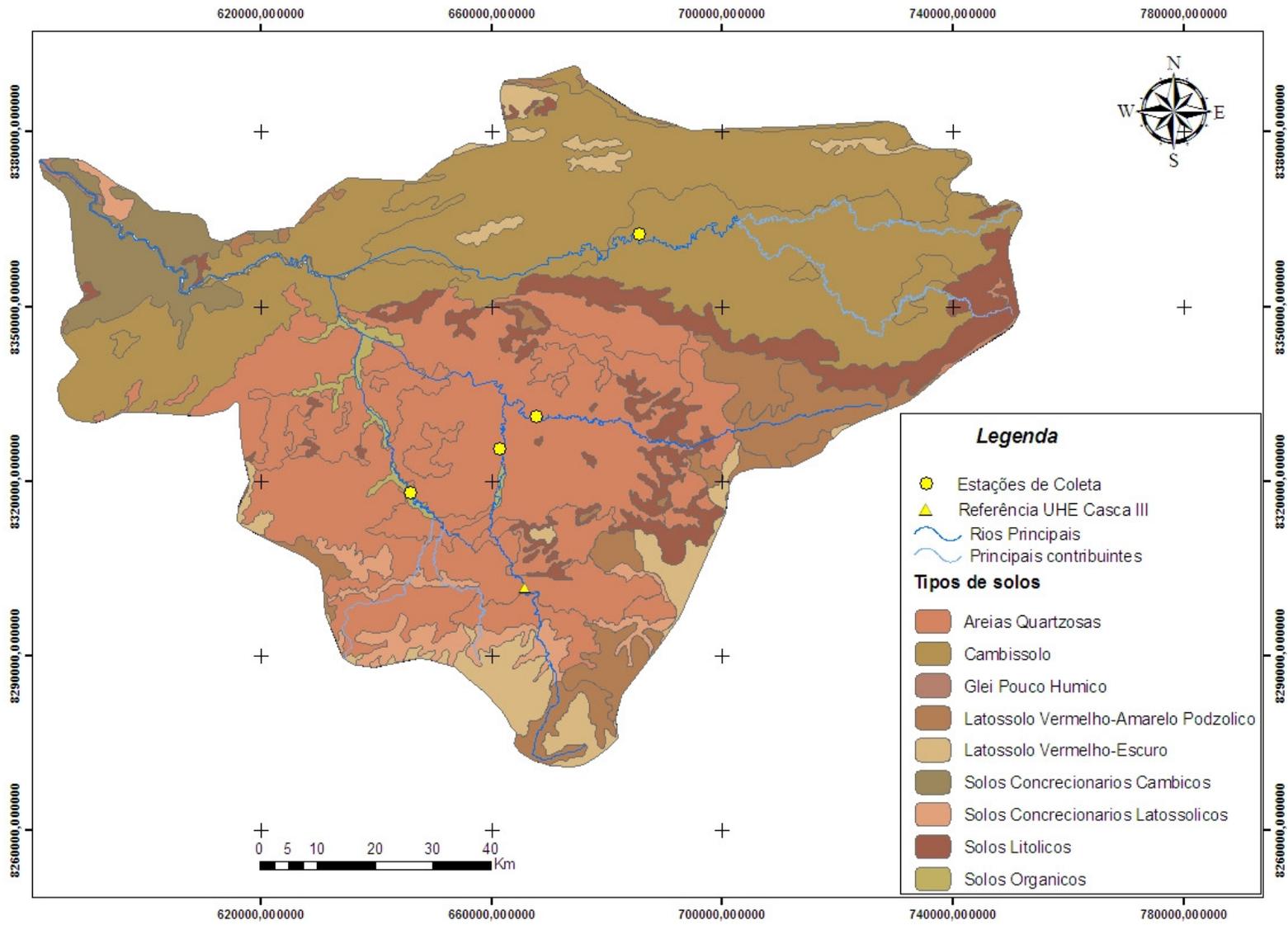


Figura 30 - Classificação dos solos da bacia hidrográfica do APM Manso, base cartográfica SEPLAN-MT, Datum horizontal SAD-69 Cambissolos.

Nas Figuras 31 e 32 apresentam-se perfil e vegetação de um cambissolo apenas para ilustrar a formação.



Figura 31 – Vista superficial de Cambissolos e vegetação de cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Manso (M4). Foto: Valmir J. Silva (outubro/2008).



Figura 32 – Paisagem em área de Cambissolos, e ave do cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Manso (M4). Foto: Valmir J. Silva (novembro/2008).

Na Figura 33 é apresentado um perfil representativo de areias quartzozas ou neossolo quartzarênico.

AREIAS QUARTZOSAS



Figura 33 – Vista superficial de Areia Quartzosa (AQ) ou Neossolo Quartzarenico (NQ) em Chapada dos Guimarães –MT. Foto: Valmir J. Silva (agosto/2008).

Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) ocupam 15% da área do Cerrado. Estes solos eram anteriormente chamados de Areias Quartzosas. Ao contrário dos Neossolos Litólicos, os Neossolos Quartzarênicos são muito profundos. A característica principal destes solos, no entanto, é serem completamente dominados por areia. Como o nome já diz, o mineral da fração areia destes solos é o quartzo. Quartzo é um mineral extremamente resistente ao intemperismo e desprovido de nutrientes (UFLA, 2009).

5.7 Usos do Solo

O principal uso do solo observado neste trabalho foi a intensa atividade da agricultura mecanizada na região de Campo Verde, com forte produção de milho, soja e algodão onde se o município se destaca nesta cultura como o maior produtor de algodão do estado e um dos maiores do país.

Também se constatou a existências das usinas produtoras de energia no Rio Casca que são: Casca I e Casca II bem como estudos para implantação de varias outras PCHs nos rios da região.

Foi constatada a atividade garimpeira de diamantes na bacia do Rio Quilombo tanto de forma manual como por empresa especializada.

É importante ressaltar que foi pavimentada a MT 243 que dá acesso de Chapada dos Guimarães, Campo Verde e Nova Brasilândia.

Na bacia hidrográfica do Manso não existe empreendimentos significativos do uso do solo, sendo este utilizado por grandes fazendas para pecuária extensiva.

5.8 Geomorfologia

Na parte superior da Bacia encontra-se o Planalto dos Guimarães, o qual possui características Topográficas e Morfológicas muito distintas, sendo: Chapada dos Guimarães, com cotas variando de 600 a 800 m, Planalto do Casca, com cotas de 300 a 600m, o Planalto dos Alcantilados de 300 a 650 m e Baixada Cuiabana descendo a 150m próximo a Foz do Rio Coxipó (RADAM BRASIL, 1982 *apud* ROCHA, 2002).

Na região em estudo, como decorrência das condições do quadro morfológico, a sua hidrografia está representada, principalmente, por rios de planalto que se caracterizam por apresentar, ao longo de seus cursos, um considerável número de quedas d'água, corredeiras e estirões.

Apresenta-se na Figura 34 um mapa de relevo do estado de Mato Grosso para que o leitor possa ter uma idéia das altitudes ocorrentes na região em estudo e sua posição em relação a outras localizações geográficas existentes.

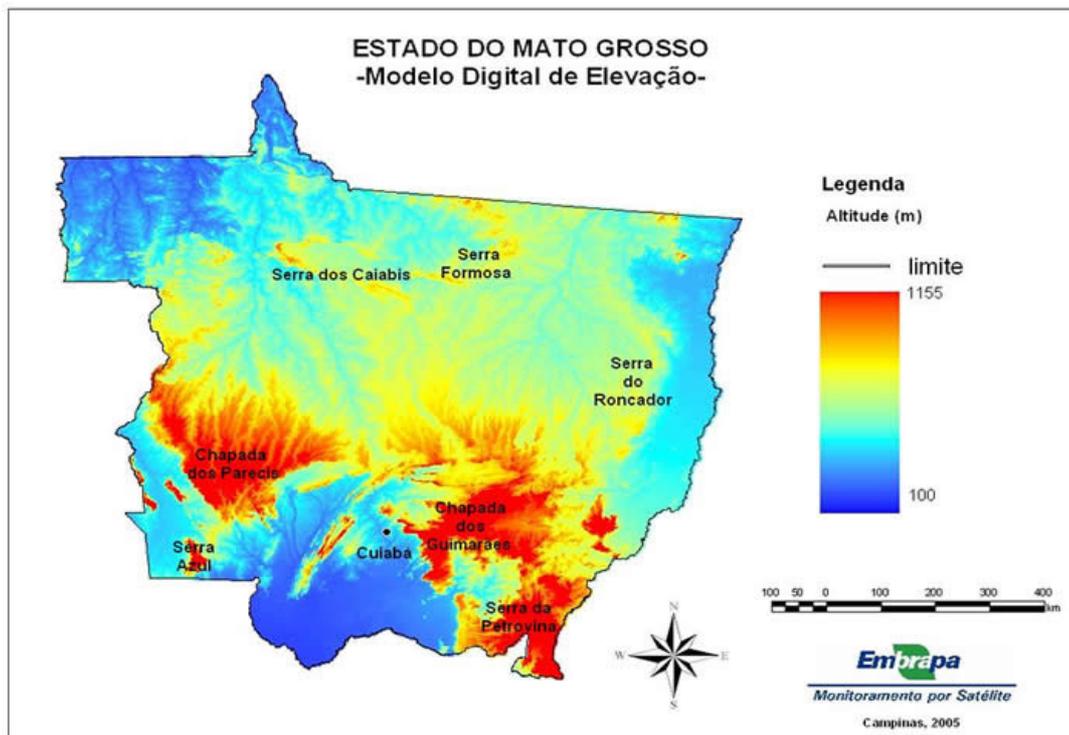


Figura 34 – Modelo digital de elevação do estado do Mato Grosso (Adaptado de COUTINHO, 2005).

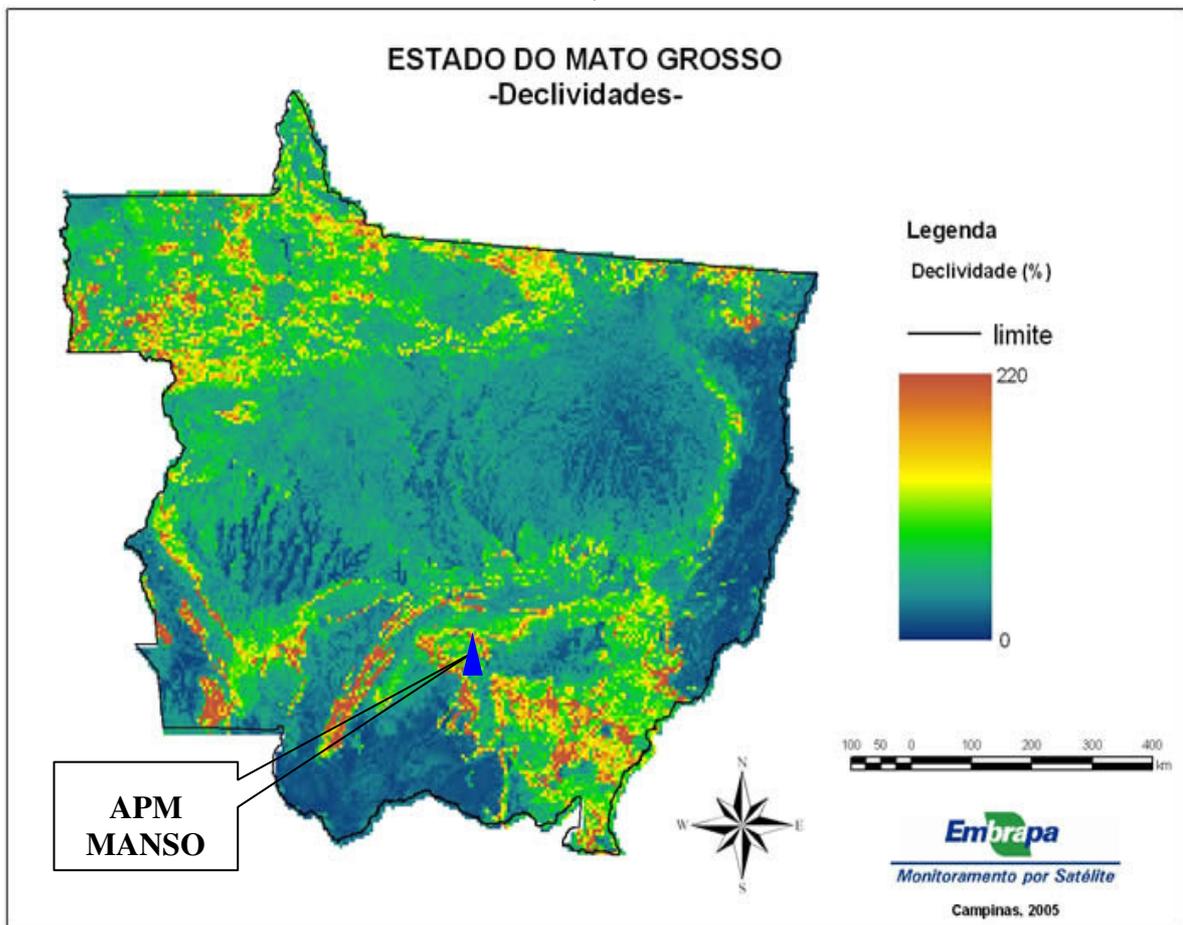


Figura 35 – Mapa de declividades do Estado do Mato Grosso (Adaptado de COUTINHO, 2005).

5.9 Problemas do assoreamento em Mato Grosso

Neste tópico, mostram-se fotografias que referenciam e contextualizam o problema do assoreamento no estado de Mato Grosso através do tempo, com o objetivo de informar que este tema já faz parte de pesquisas científicas, muito embora estes trabalhos sejam em pequena escala, portanto, a necessidade urgente do aprimoramento dos estudos nesta área do conhecimento no estado de Mato Grosso.

Apresentamos a seguir também os rios Manso, Casca, Roncador e Quilombo com seus respectivos leitos em sentido longitudinal nas Figuras 36, 37, 38 e 39.



Figura 36 – Rio Casca com visão de corredeiras. Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).



Figura 37 – Rio Manso com visão de meandros e morfologia. Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).



Figura 38 – Rio Roncador na estação R3 alto transporte de sedimentos. Foto: Valmir J. Silva (dezembro/2008).



Figura 39 – Vista do Rio Quilombo apresentando leito rochoso no ponto de coleta (Q2). Foto: Valmir J. Silva (setembro/2008).



Figura 40 – Rio São Lourenço (MT), assoreamento ao longo do curso d'água (04/07/1984).
Fonte: Carvalho, 2008



Figura 41 – Rotores de turbinas desgastadas por abrasão de sedimentos, Poxoréu – MT
(13/03/1988). Fonte: Carvalho, 2008.



Figura 42 – AHE Itiquira, Rio Itiquira (MT). Potência instalada 156MW, área inundada 2,1 km², volume total 4,8 hm³, início de operação outubro de 2002 e após 5 anos de operação 2/3 do reservatório está tomado por sedimentos impossibilitando a geração de energia elétrica. Foto: http://www.construtoraquebec.com.br/obras_barragens07.asp (Acesso em 20/12/2008). Fonte: ITISA, 2007.



Figura 43 – Assoreamento do reservatório UHE Poxoréo, CEMAT-MT, provocado pela erosão de mineração do ouro e diamante (13/03/1988). Início das operações em 1976 e em cinco anos de funcionamento já estava assoreado (IGLESIAS, 1994b).



Figura 44 – Rio da Casca – MT, vista aérea PCH Casca III também sofre com problemas de assoreamento. Fonte: <http://www.panoramio.com/photo/17026811>. Acesso em 20/12/2008.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no monitoramento hidrosedimentológico divididos em:

- Pluviometria;
- Curva-chave de vazão líquida;
- Concentração dos Sedimentos em Suspensão
- Determinação de descarga sólida;
- Variação temporal da vazão líquida e da descarga sólida;
- Análise da variabilidade em torno da média dos parâmetros: sedimentos em suspensão (C's), vazão líquida (QL) e descarga sólida (QST);
- Distribuição de vazão entre as bacias hidrográficas na seca e cheia;
- Curva-chave de sedimentos;
- Curvas Granulométricas;
- Avaliação da vida útil do reservatório APM Manso;
- Resumo de descarga sólida específica, vazão líquida específica nos contribuintes e aporte anual no APM Manso.
- Vazão líquida e descarga sólida em função do tempo;

Os resultados serão apresentados em forma de gráficos, tabelas e figuras com objetivo de facilitar o entendimento.

Em seguida é feita a análise de variabilidade dos parâmetros vazão líquida, descarga sólida e concentração de sedimentos em suspensão em torno da produção média além da variação percentual de cada sub-bacia nos períodos de seca e cheia.

6.1 Pluviometria

Foram obtidos os totais pluviométricos para o período em estudo: junho de 2008 a maio de 2009, Bacia do Rio Casca: 1482 mm, Bacia do Rio Quilombo: 1320 mm, Bacia do Rio Roncador: 1619 mm, Bacia do Rio Manso: 1550 mm.

Fazendo-se a média aritmética entre precipitações nas bacias hidrográficas encontra-se uma precipitação média na região de 1493 mm durante o período. A precipitação mensal em cada estação pode ser visualizada nas Figuras 45 a 48.

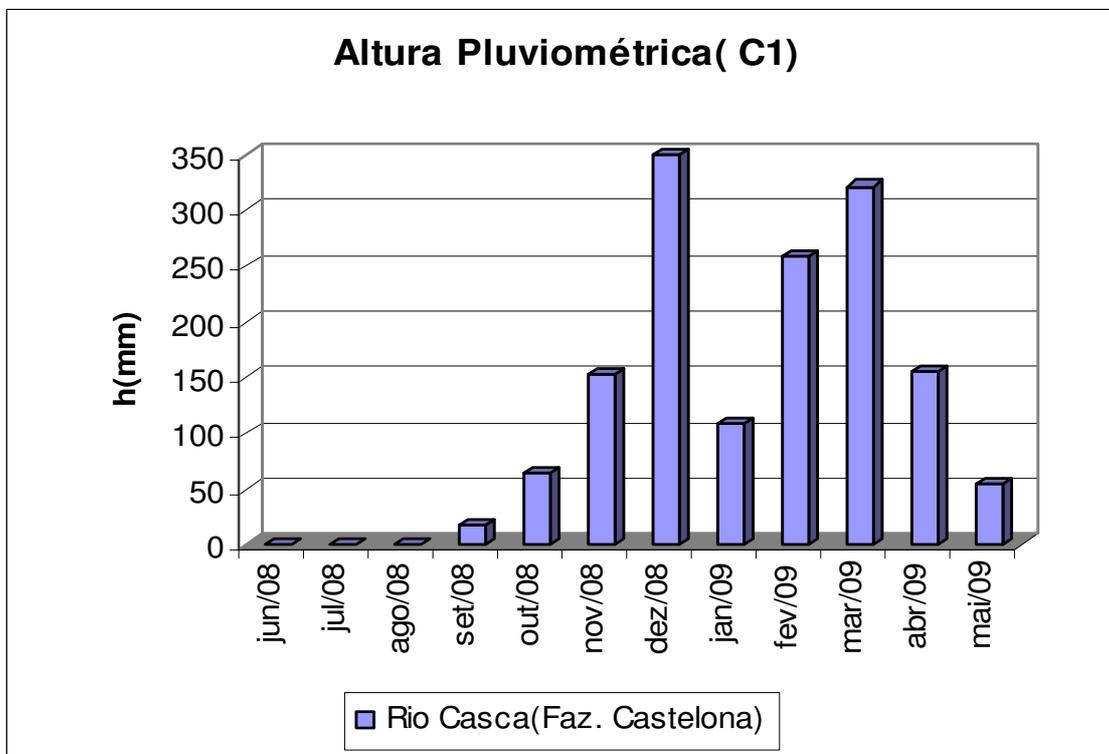


Figura 45 – Altura pluviométrica C1 (Rio Casca).

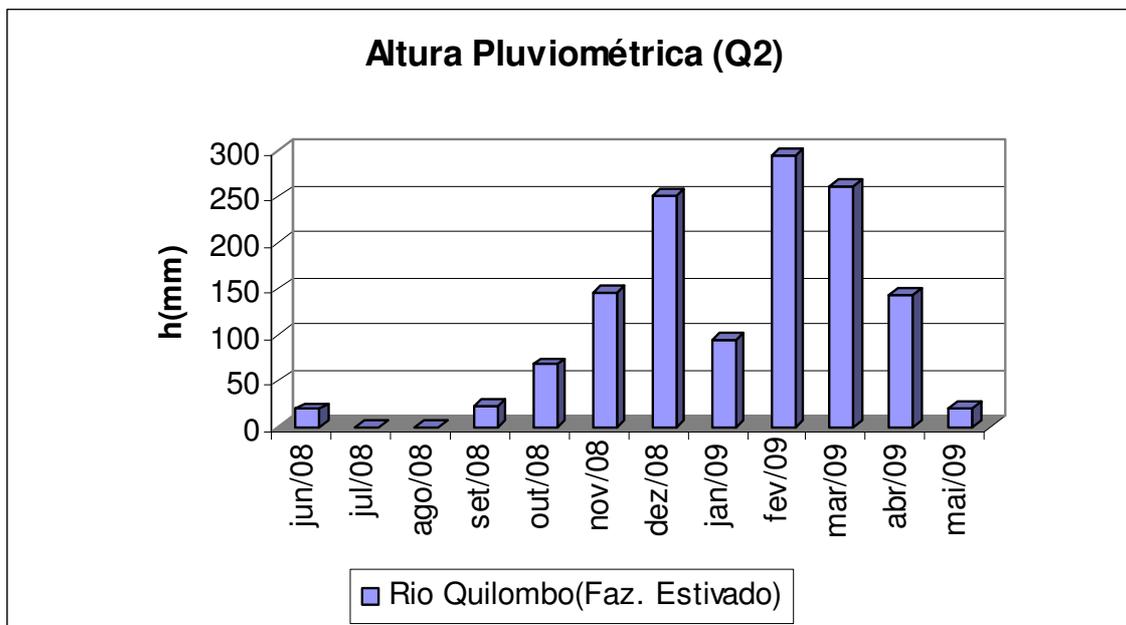


Figura 46 – Altura pluviométrica Q2 (Rio Quilombo).

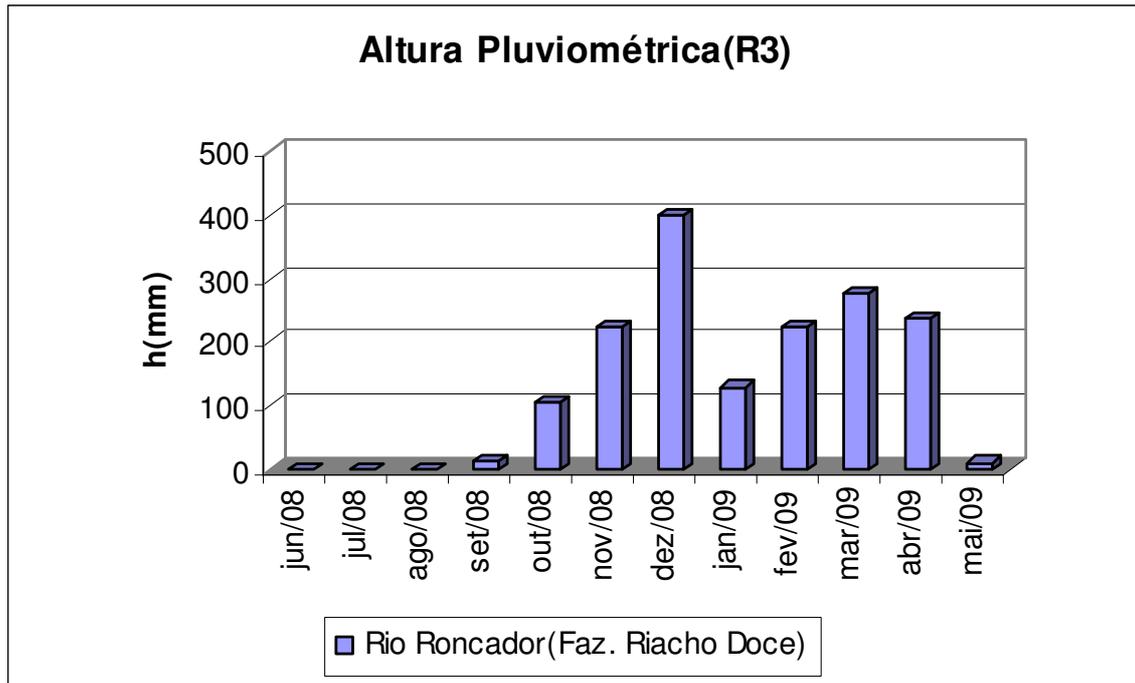


Figura 47 – Altura pluviométrica R3 (Rio Roncador).

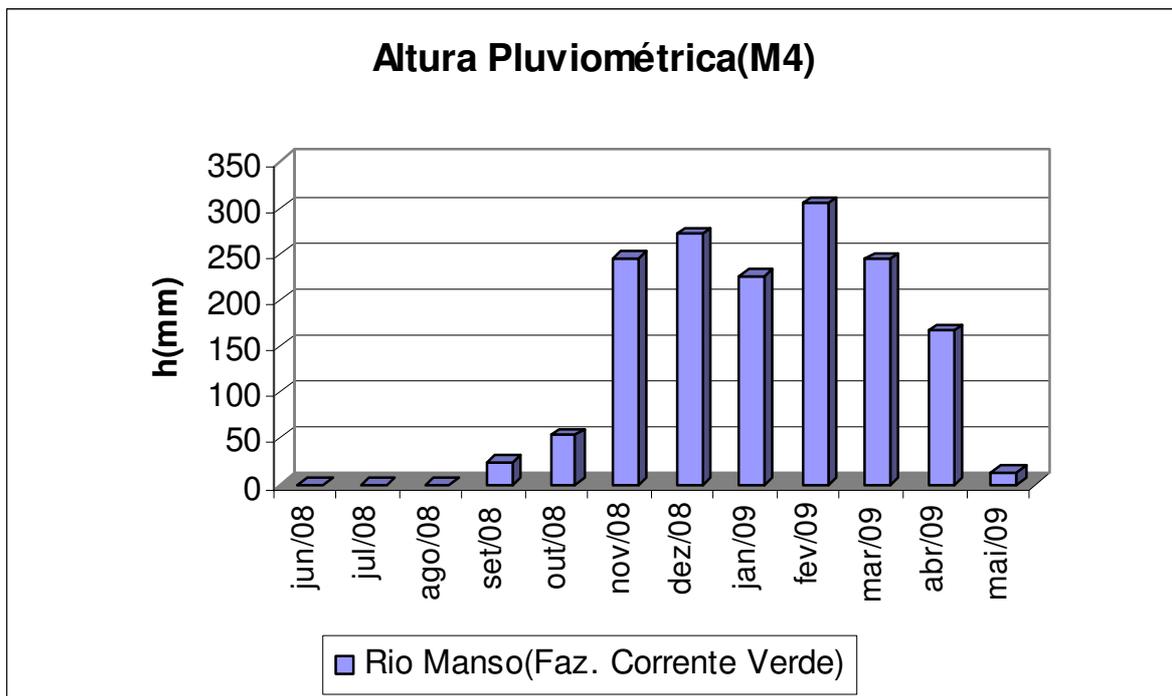


Figura 48 – Altura pluviométrica M4 (Rio Manso).

Obteve-se para efeito de comparação as precipitações médias anuais nas estações C1 (1450mm) e R3 (1542mm) com séries históricas de 2001 a 2008.

Observa-se que a precipitação total média de 1493mm encontrada para a Bacia hidrográfica do APM Manso (Bacia do Manso, Casca, Quilombo e Roncador) é compatível com os valores obtidos na série histórica dos oito anos anteriores na Bacia do Casca e do Roncador, ou seja, o ano em estudo trata-se de um ano com precipitação total próxima a média.

6.2 Curva-chave de vazão líquida

De posse dos valores das séries históricas de vazão e nível de água em cada estação fluviométrica de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 4 deste trabalho, definiu-se a curva-chave de vazão líquida utilizando o método dos mínimos quadrados com auxílio de planilha eletrônica.

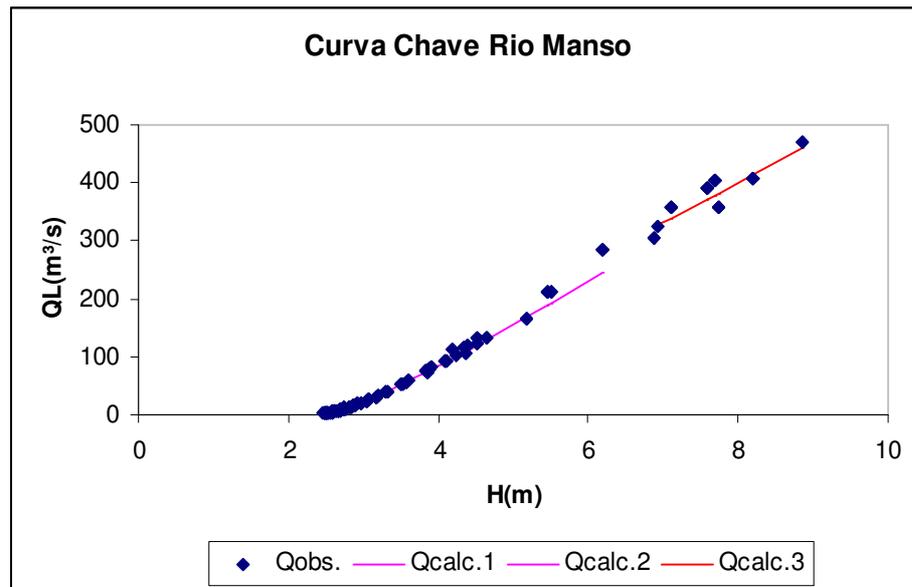
O método dos mínimos quadrados ajustou os parâmetros “a” “b” e “H₀” da equação
$$QL = a \cdot (H - H_o)^b$$

Em que: QL é a vazão, H é o nível do rio e “a” ,”b” e “H₀” são constantes de ajuste, de forma que “H₀” corresponde ao valor de H para QL=0.

Uma vez que a vazão líquida (QL) é uma função do nível (H), observou-se que a partir do aumento do nível perdia-se a relação biunívoca entre cota-vazão com uma discrepância entre o ramo inferior e superior da curva.

Deste modo foi necessário estabelecer então duas equações na mesma curva para atender os dois ramos da curva-chave.

Em rios como o Manso, onde o regime fluviométrico é extremamente inconstante se fez necessário, o estabelecimento de três equações para atender os três estágios da curva: ramo inferior, ramo médio e ramo superior.



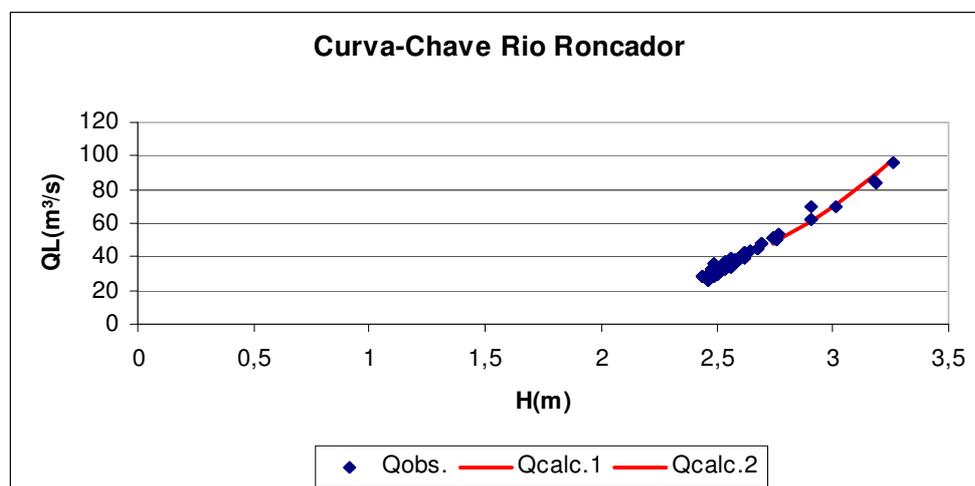
$$QL = 0,8003 \times (H - 1,144)^{5,1648} \rightarrow H \leq 2,61$$

$$QL = 49,67 \times (H - 2,465)^{1,216} \rightarrow 2,61 < H \leq 6,19$$

$$QL = 2,007 \times (H + 4,131)^{2,1198} \rightarrow H > 6,19$$

Figura 49 – Curva -chave com equações definidas para o rio Manso na Estação M4.

Obs.: Série histórica: 28/08/98 à 19/06/07.

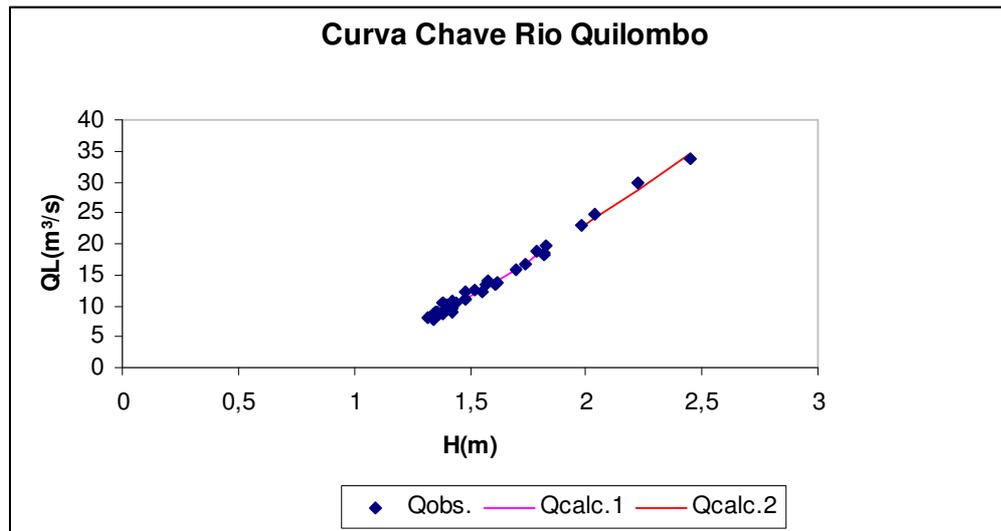


$$QL = 1,525 \times (H - 0,513)^{4,4207} \longrightarrow H \leq 2,69$$

$$QL = 2,6129 \times (H - 0,4407)^{3,49542} \longrightarrow H > 2,69$$

Figura 50 – Curva-chave e equações definidas para rio Roncador na Estação R3.

Obs.: Série histórica: 11/11/99 a 18/06/07.

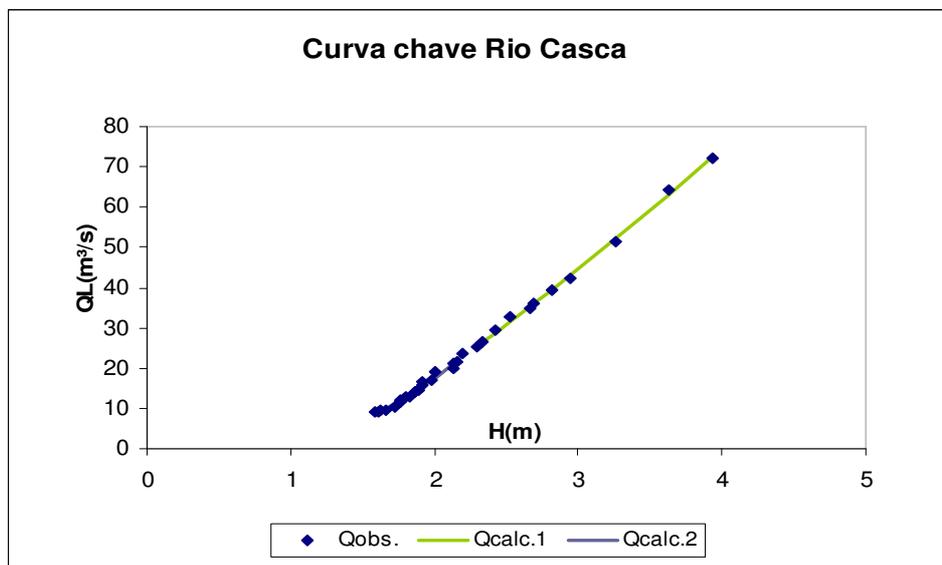


$$QL = 1,8630 \times (H + 0,318)^{3,0530} \longrightarrow H \leq 1,83$$

$$QL = 18,7355 \times (H - 0,8113)^{1,2420} \longrightarrow H > 1,83$$

Figura 51 – Curva-chave e equações definidas para rio Quilombo na Estação Q2.

Obs.: Série histórica: 24/08/98 a 07/07/02.



$$QL = 3,9304 \times (H - 0,2267)^{2,59999} \longrightarrow H \leq 2,20$$

$$QL = 21,2480 \times (H - 1,1388)^{1,191967} \longrightarrow H > 2,20$$

Figura 52 – Curva-chave e equações definidas para rio Casca na Estação C1.

Obs.: Série histórica: 12/02/00 à 07/12/01.

6.2.1 Concentração dos Sedimentos em Suspensão

Nas Figuras 53 a 56 são apresentados os resultados de concentração mensal dos sedimentos em suspensão no período em cada estação de monitoramento.

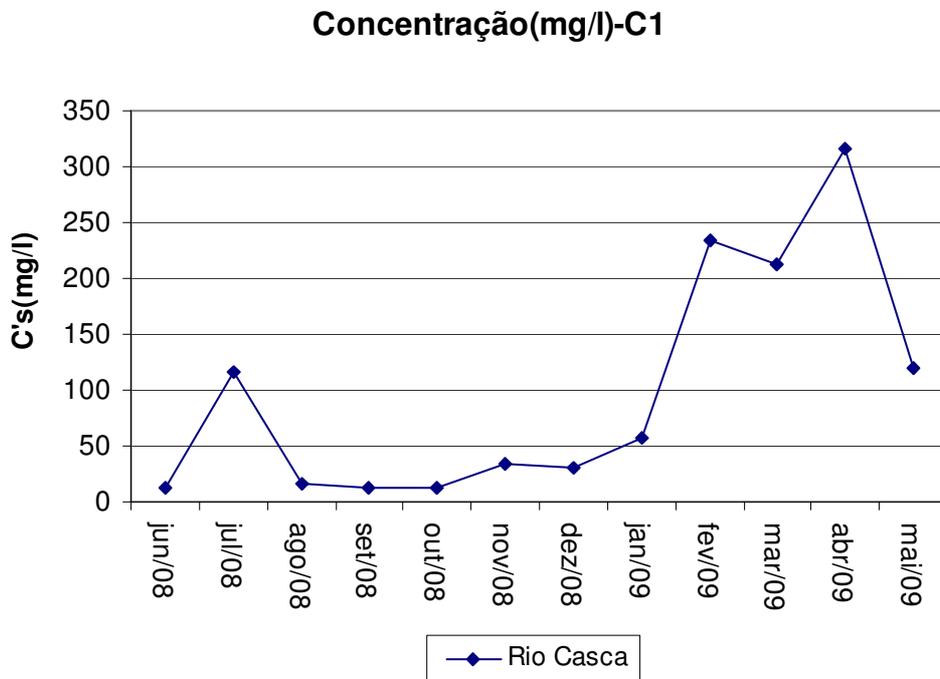


Figura 53 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação C1.

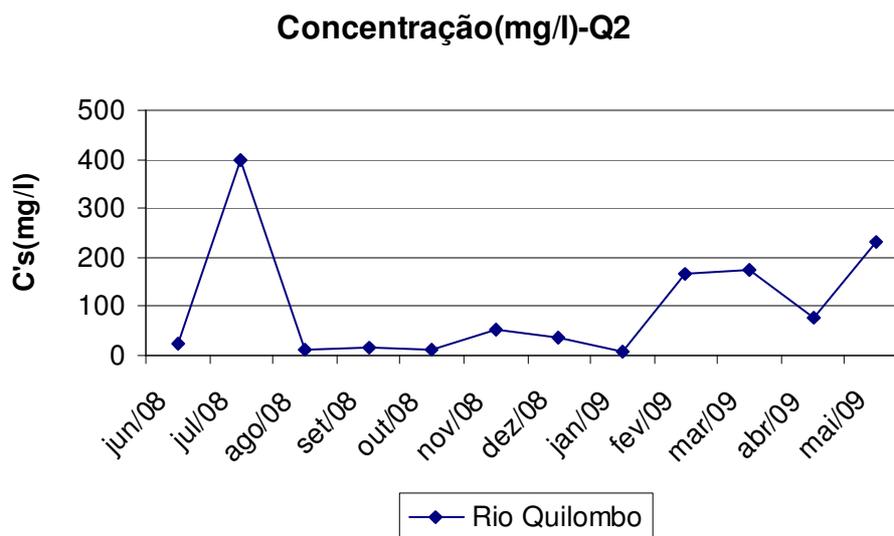


Figura 54 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação Q2.

Nos rios Quilombo (Figura 54) e Casca (Figura 53) observam-se respectivamente picos de 400 e 100 mg/l na concentração dos sedimentos em suspensão em julho, para justificar esta variação apresentam-se duas possibilidades.

Primeiro, no Rio Quilombo observou-se a limpeza de canal a montante (no mesmo dia da coleta), e atividade de garimpo manual e mecanizado.

Segundo, no Rio Casca este evento pode estar associado a alguma descarga de fundo dos reservatórios Casca 2 e Casca 3 situados a montante do ponto de coleta.

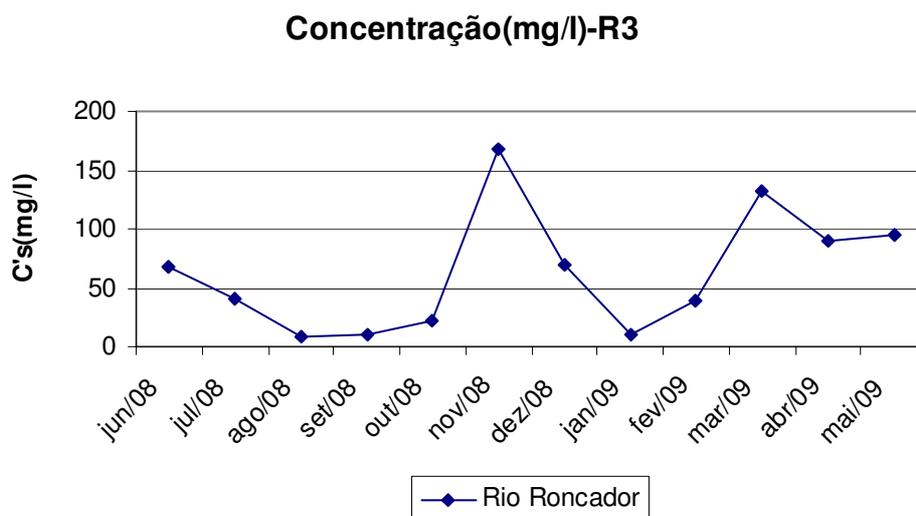


Figura 55 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação R3.

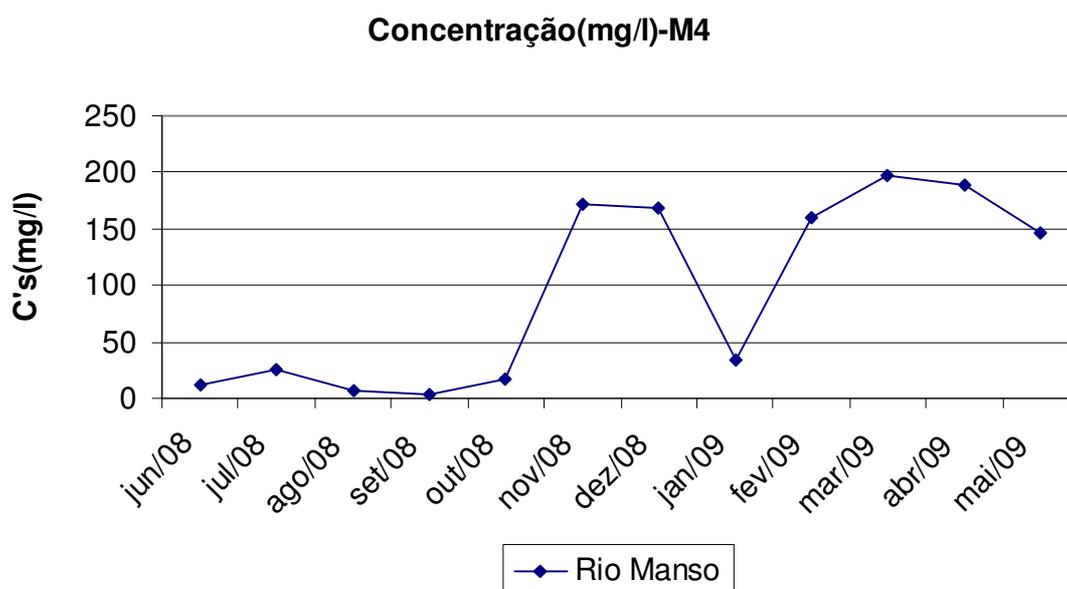


Figura 56 – Concentração de sedimentos média mensal na Estação M4.

O Rio Roncador apresentou uma concentração dos sedimentos em suspensão máxima de 167 mg/l em novembro de 2008 um valor considerado normal para o período, pois coincide com o começo do período chuvoso quando ocorre o transporte dos sedimentos da bacia hidrográfica para os cursos de água.

O Rio Manso apresenta concentração dos sedimentos em suspensão de 34 mg/l em janeiro de 2009, um valor abaixo do esperado para o período que pode ser explicado pela pouca precipitação na bacia hidrográfica, ou eventual erro de laboratório.

Observa-se em todas as estações que a concentração dos sedimentos em suspensão apresenta intrínseca relação com a precipitação.

6.3 Determinação da Descarga Sólida

Neste item são apresentados todos os resultados obtidos através das campanhas hidrosedimentométricas de campo realizadas nos Rios Casca, Roncador, Manso e Quilombo. Posteriormente serão apresentados gráficos ilustrativos de cada situação individualizada.

Com o objetivo de facilitar o entendimento serão apresentados em sequência:

- Tabelas com resumo de vazão líquida e descarga sólida para cada mês nas quatro estações de monitoramento.

Apresenta-se a seguir, da Tabela 2 até a Tabela 13, as 12 campanhas de campo realizadas com todos os resultados obtidos em que: NA é o nível do rio, QL é a vazão líquida, VM é a velocidade média da seção transversal, L é a largura da seção da transversal, Cr é a concentração relativa, C's é a concentração dos sedimentos em suspensão, Qsm é a descarga sólida medida, Qsnm é a descarga sólida não medida, QST é a descarga sólida total.

A descarga sólida foi calculada pelo método de Colby (1957), conforme metodologia descrita no Capítulo 3.

Tabela 2 – Junho/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 1ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
03.06.08	C1	2,01	17,84	0,57	1,37	22,96	223,54	11,66	17,97	37,35	55,32	26,5	31
03.06.08	Q2	1,56	12,47	0,63	1,13	17,63	319,84	26,07	28,09	50,24	78,33	26,5	32,5
04.06.08	R3	2,62	42,12	1,34	1	31	1534,84	68,13	248,64	800,25	1048,9	26,5	29
05.06.08	M4	2,9	16,525	0,37	1,22	40,1	100,35	12,68	18,1	21,34	39,44	26	30,5
TOTAL			88,955								1221,99		

Tabela 3 – Julho/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 2ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
08.07.08	C1	1,91	15,56	0,53	1,29	22,74	203,01	115,73	155,59	92,56	248,14	26,5	31
08.07.08	Q2	1,46	10,42	0,477	1,26	17,3	165,71	398,27	358,56	98,15	456,71	26,5	32,5
09.07.08	R3	2,55	34,95	1,19	0,94	31	1,330,80	40,47	122,21	481,85	604,05	26,5	29
10.07.08	M4	2,7	8,58	0,185	1,03	44,72	28,01	26,3	19,5	6,5	26	26	30,5
TOTAL			69,51								1334,9		

Tabela 4 – Agosto/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 3ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
13.08.08	C1	1,82	12,93	0,485	1,18	22,73	180,87	16,425	18,35	28,38	46,73	26,5	31
13.08.08	Q2	1,4	9,69	0,566	1,127	15,2	258,38	11,731	9,82	22,99	32,82	26,5	32,5
14.08.08	R3	2,52	33,4	1,141	0,93	31,2	1228,88	8,875	25,61	211,09	236,7	26,5	29
15.08.08	M4	2,59	5,61	0,226	0,96	29,51	44,94	7,13	3,46	3,61	7,06	26	30,5
TOTAL			61,63								323,31		

Tabela 5 – Setembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 4ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
10.09.08	C1	1,73	10,5	0,394	1,2	22,1	115,64	12,97	11,77	15,09	26,85	26,5	31
10.09.08	Q2	1,38	8,77	0,523	0,99	17	242,4	17,27	13,09	24,41	37,5	26,5	32,5
11.09.08	R3	2,5	30,2	1,083	0,89	31	1.131,96	10,36	27,03	196,83	223,87	26,5	29
12.09.08	M4	2,52	4,41	0,185	0,94	25	30,46	3,29	1,25	1,29	2,54	26	30,5
TOTAL			53,88								290,76		

Tabela 6 – Outubro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 5ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
08.10.08	C1	1,73	10,5	0,394	1,2	22,1	115,64	11,78	10,69	14,41	25,09	26,5	31
08.10.08	Q2	1,37	8,76	0,518	0,99	17	236,9	11,14	8,43	19,36	27,79	26,5	32,5
09.10.08	R3	2,56	37,1	1,237	0,96	31	1.424,16	21,23	68,05	390,47	458,52	26,5	29
10.10.08	M4	2,62	5,7	0,171	0,99	33,5	24,82	16,62	8,19	3,17	11,35	26	30,5
TOTAL			62,06								522,75		

Tabela 7 – Novembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 6ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
12.11.08	C1	1,73	10,5	0,394	1,2	22,1	115,64	33,33	30,24	23,72	53,95	26,5	31
12.11.08	Q2	1,42	10,6	0,522	1,19	17	207,75	54,04	49,49	44,53	94,02	26,5	32,5
13.11.08	R3	2,58	37	1,245	0,95	31,2	1.450,70	167,1	534,19	1.070,31	1.604,49	26,5	29
14.11.08	M4	3,24	36,2	0,56	1,41	45,47	212,98	172,33	538,99	263,87	802,86	26	30,5
TOTAL			94,3								2555,32		

Tabela 8 – Dezembro/2008 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 7ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
16.12.08	C1	3,2	49,64	0,815	2,29	26,43	341,46	30,66	131,5	191,06	322,55	26,5	31
17.12.08	Q2	1,54	12,7	0,61	1,17	17,53	293,4	37,44	41,08	56,1	97,18	26,5	32,5
17.12.08	R3	2,64	43,8	1,37	1,02	31	1.699,85	68,89	260,7	891,83	1.152,53	26,5	29
18.12.08	M4	3,93	88,67	0,836	2,02	49,71	394,45	167,74	1.285,07	825,53	2.110,60	26	30,5
TOTAL			194,81								3.682,86		

Tabela 9 – Janeiro/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 8ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
12/01/09	C1	2,15	20,63	0,57	1,54	23,4	206,78	57,6	102,67	86,49	189,16	26,5	31
12/01/09	Q2	1,51	12,5	0,57	1,28	17	238,05	8,18	8,83	23,05	31,88	26,5	32,5
12/01/09	R3	2,58	37	1,245	0,95	31,2	1450,7	10,22	32,67	280,45	313,12	26,5	29
14/01/09	M4	3,14	28,71	0,521	1,29	42,4	195,82	34	84,34	92,15	176,49	26	30,5
TOTAL			98,84								710,65		

Tabela 10 – Fevereiro/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 9ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
18/02/09	C1	3,16	48,63	0,81	2,27	26,3	338,8	233,33	980,37	494,35	1474,72	26,5	31
18/02/09	Q2	2,12	26,54	0,8	1,73	19,03	396,98	166,35	381,45	270,27	651,72	26,5	32,5
19/02/09	R3	2,72	50,29	1,39	1,15	31,2	1644,12	38,14	165,72	721,61	887,33	26,5	29
20.02/09	M4	5,23	174,52	1,13	2,87	53,82	626,34	160,05	2413,32	1946,81	4360,13	26	30,5
TOTAL			299,98								7373,9		

Tabela 11 – Março/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 10ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
11/03/09	C1	2,84	39,68	0,75	2,14	24,48	297	213,33	731,37	361,6	1092,97	26,5	31
11/03/09	Q2	1,82	18,4	0,74	1,47	17	369,34	176,4	280,43	192,82	473,25	26,5	32,5
12/03/09	R3	2,72	50,29	1,39	1,15	31,2	1644,12	132,12	574,07	1.308,96	1.883,03	26,5	29
13/03/09	M4	5,3	186,44	1,17	2,91	54,13	673,97	198	3189,47	2.355,71	5.545,17	26	30,5
TOTAL			294,81								8.994,42		

Tabela 12 – Abril/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 11ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
15/04/09	C1	2,72	36,89	0,75	1,98	24,86	312,2	316	1007,19	428,92	1436,11	26,5	31
15/04/09	Q2	1,86	19,44	0,67	1,56	18,55	287,43	78,46	131,78	115,75	247,53	26,5	32,5
16/04/09	R3	2,8	55,03	1,47	1,18	31,52	1822,65	89,59	425,96	1.263,30	1.689,27	26,5	29
17/04/09	M4	4,18	107,75	0,91	2,32	50,85	436,18	188,5	1754,86	1139,08	2893,93	26	30,5
TOTAL			219,11								6.266,84		

Tabela 13 – Maio/2009 – Resultados hidrosedimentológicos obtidos na 12ª campanha de campo.

DATA	PTO	N.A. (m)	QL (m³/s)	V.M. (m/s)	P.M. (m)	L (m)	Cr	C's (mg/l)	Qsm (t/d)	Qsnm (t/d)	QST (t/d)	TEMPERAT.	
												ÁGUA	AR
20/05/09	C1	1,95	16,47	0,54	1,31	23,06	208,67	118,88	169,17	99,98	269,14	26,5	31
20/05/09	Q2	1,52	12,6	0,57	1,3	17	235,26	229,97	250,35	114,7	365,05	26,5	32,5
21/05/09	R3	2,62	42,9	1,33	1,03	31,2	1591,51	95,25	353,05	978,49	1331,54	26,5	29
22./05/09	M4	3,04	23,5	0,44	1,25	42,2	140,78	145,7	295,83	121,56	417,39	26	30,5
TOTAL			95,47								2383,12		

Na Tabela 14 é apresentado um resumo da descarga sólida e da vazão líquida produzida em cada estação e o aporte mensal médio de cada uma delas no APM Manso.

Tabela 14 – Resumo de resultados da vazão líquida (QL) e descarga sólida (QST) com afluência anual sólida e líquida.

MONITORAMENTO			Estação - C1		Estação-Q2		Estação-R3		Estação-M4		APM MANSO	
CAMPANHAS	MÊS	ANO	QL(m³/s)	QST(t/d)	QL(m³/s)	QST(t/d)	QL(m³/s)	QST(t/d)	QL(m³/s)	QST(t/d)	ΣQL(m³/s)	ΣQST(t/d)
1	JUN	2008	17,84	55,32	12,47	78,33	42,12	1085,00	16,53	39,44	88,96	1258,00
2	JUL	2008	15,56	248,14	10,42	456,71	34,95	604,05	8,58	26,00	69,51	1335,00
3	AGO	2008	12,93	46,73	9,69	32,82	33,40	236,70	5,61	7,06	61,63	323,00
4	SET	2008	10,50	26,85	8,77	37,50	30,20	223,87	4,41	2,54	53,88	291,00
5	OUT	2008	10,50	25,09	8,76	27,79	37,10	458,52	5,70	11,35	62,06	523,00
6	NOV	2008	10,50	53,95	10,60	94,02	37,00	1604,49	36,20	802,86	94,30	2555,00
7	DEZ	2008	49,64	322,55	12,70	97,18	43,80	1152,53	88,67	2110,60	194,81	3683,00
8	JAN	2009	20,63	189,16	12,5	31,88	37	313,12	28,71	176,49	98,84	710,65
9	FEV	2009	48,63	1474,72	26,54	651,72	50,29	887,33	174,52	4360,13	299,98	7373,9
10	MAR	2009	39,68	1092,97	18,4	473,25	50,29	1883,03	186,44	5545,17	294,81	8994,42
11	ABR	2009	36,89	1436,11	19,44	247,53	55,03	1689,27	107,75	2893,93	219,11	6266,84
12	MAI	2009	16,47	269,14	12,6	365,05	42,9	1331,54	23,5	417,39	95,47	2383,12
SOMA			289,77	5240,73	162,89	2593,78	494,08	11469,45	686,62	16392,96	1633,36	35696,93
MÉDIA			24,15	436,73	13,57	216,15	41,17	955,79	57,22	1366,08	136,11	2974,74
Afluencia Líquida(m³)- 365 DIAS			761515560,00		428074920,00		1298442240,00		1804437360,00		4292470080,00	
Afluencia sólida(t) - 365 DIAS			159405,54		78894,14		348862,44		498619,20		1085781,62	

6.4 Variação Temporal da vazão líquida e da descarga sólida

Neste item serão apresentados os resultados hidrosedimentológicos e pluviométricos obtidos em 12 campanhas de campo em estações nos rios Manso, Casca, Roncador e Quilombo afluentes do APM Manso no período de junho de 2008 a maio de 2009.

Os resultados são mostrados em gráficos com três eixos para facilitar a visualização do leitor e permitir uma leitura simplificada do comportamento no tempo e no espaço dos três parâmetros analisados (vazão líquida, descarga sólida e altura pluviométrica).

A Figura 57 apresenta a variação temporal da descarga sólida da vazão líquida e pluviometria na Estação M4.

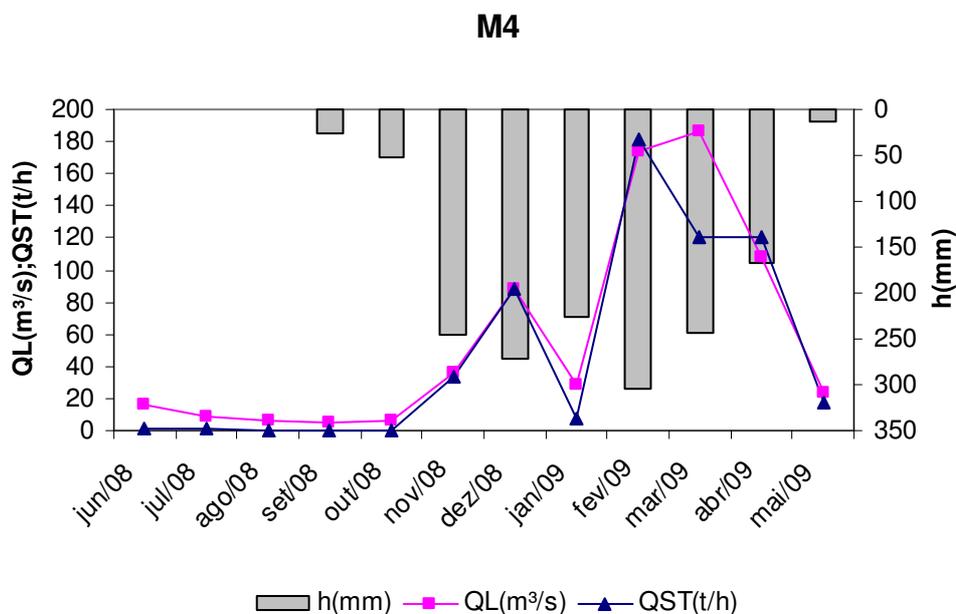


Figura 57 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m³/s) e pluviometria (mm) na Estação M4.

Conforme se observa na Figura 57 na estação M4 a descarga e a vazão líquida apresentam variação temporal semelhantes, baixos valores no período seco e altos valores no período chuvoso.

A Figura 58 apresenta a variação temporal da descarga sólida da vazão líquida e pluviometria na Estação R3.

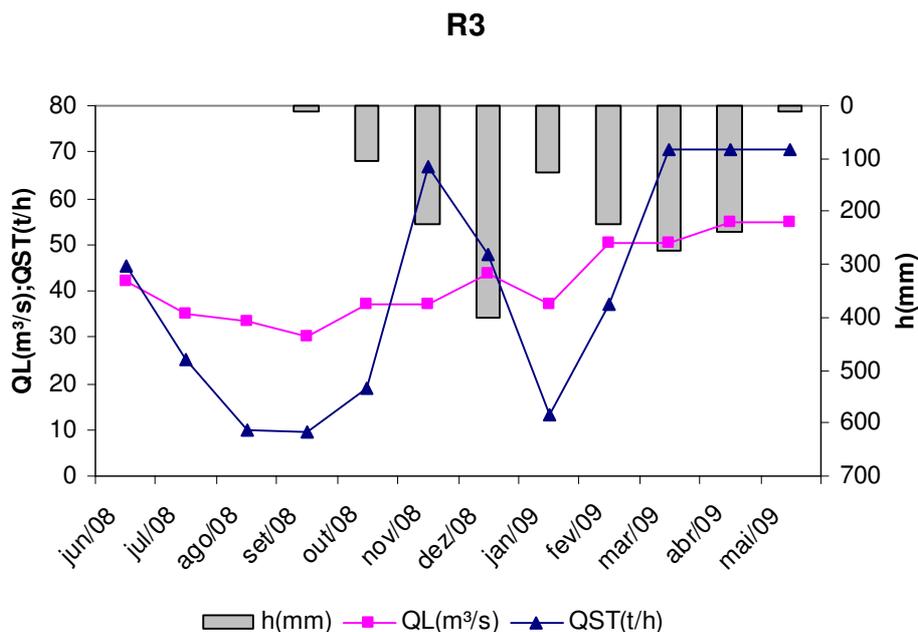


Figura 58 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m³/s) e pluviometria (mm) na Estação R3.

Na estação R3 a descarga sólida e a vazão líquida não apresentam grande variação temporal nos períodos seco e chuvoso, a produção de sedimentos e a vazão líquida ficam regulares durante quase todo o período de monitoramento.

Observa-se que no mês janeiro de 2009 houve queda brusca nos valores de descarga sólida e vazão líquida que pode ser explicado pela baixa precipitação observada neste mês.

A Figura 59 apresenta a variação temporal da descarga sólida da vazão líquida e pluviometria na Estação Q2.

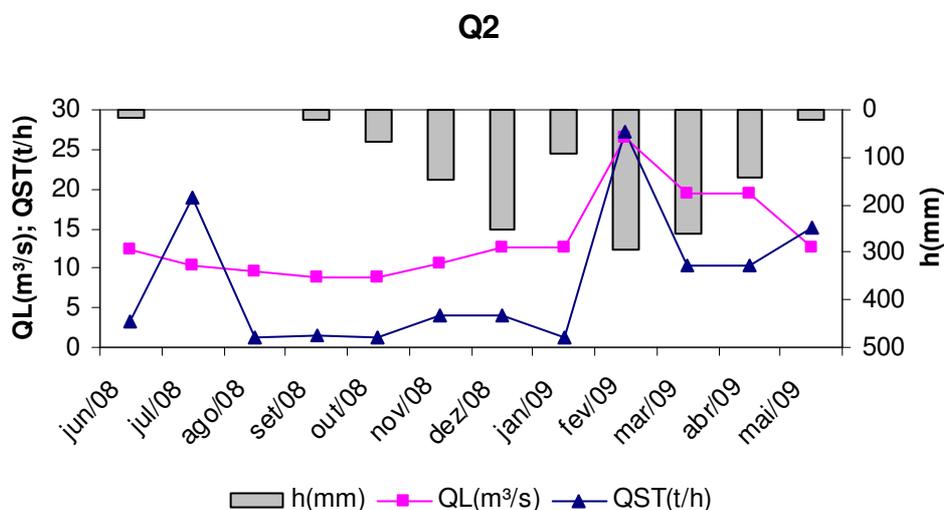


Figura 59 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m³/s) e pluviometria (mm) na Estação Q2.

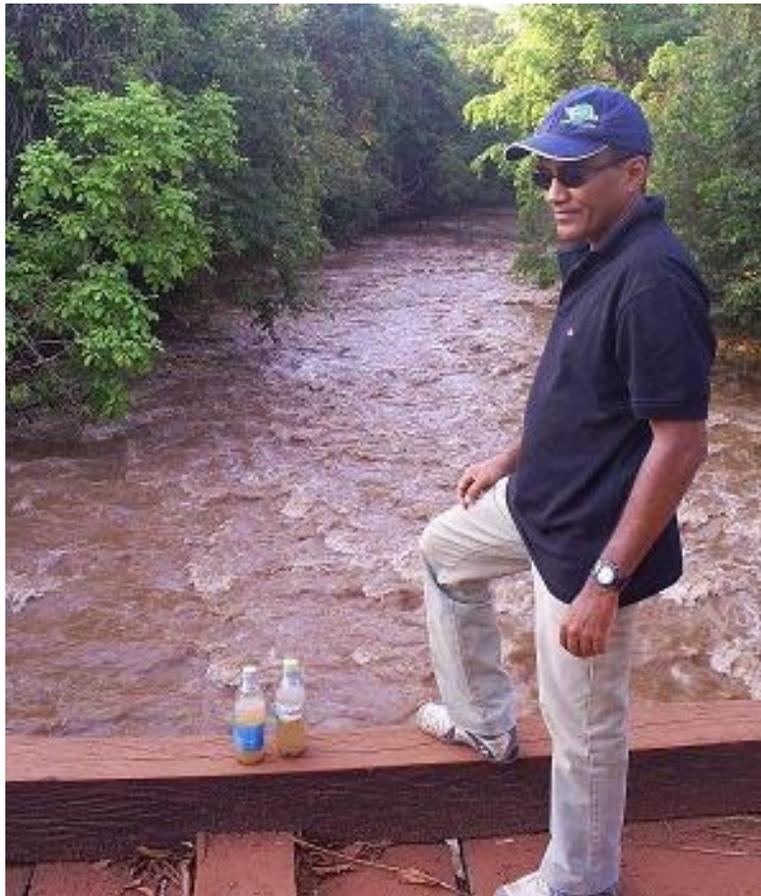


Figura 60 – Alta descarga sólida no Rio Cachoeirinha (comunidade Cachoeira Rica), um afluente do Rio Quilombo, em julho de 2008. Foto: Pedro Rocha. UFMT



Figura 61 – Empresa mineradora de diamantes no Rio Cachoeirinha afluente do Rio Quilombo.
Fonte: Google Earth. Acesso em 02/06/2009.

Observa-se pico anormal na descarga sólida em julho (período seco) na estação Q2, este fato pode ser explicado pela limpeza de um canal de drenagem utilizado para abastecimento da comunidade Cachoeira Rica no Rio Cachoeirinha situado a montante do ponto de coleta no Rio Quilombo conforme pode ser observado na Figura 60.

Observa-se subida acentuada descarga sólida e vazão líquida no mês de fevereiro de 2009 que pode ser explicado pela grande precipitação mensal na bacia hidrográfica.

Neste rio também foi observado a existência de garimpos de diamante de forma manual e mecanizada (Figura 61), práticas que envolvem intervenção no solo da bacia podendo assim aumentar o transporte de sedimentos na calha do rio.

Na estação C1 observa-se que a descarga sólida quase não é modificada durante o ano ocorrendo ligeira variação a partir de fevereiro. Este fato pode ser motivado pela retenção dos sedimentos nas usinas hidrelétricas Casca 2 e Casca 3 situadas a montante do ponto de coleta.

A Figura 62 apresenta a variação temporal da descarga sólida da vazão líquida e pluviometria na Estação C1.

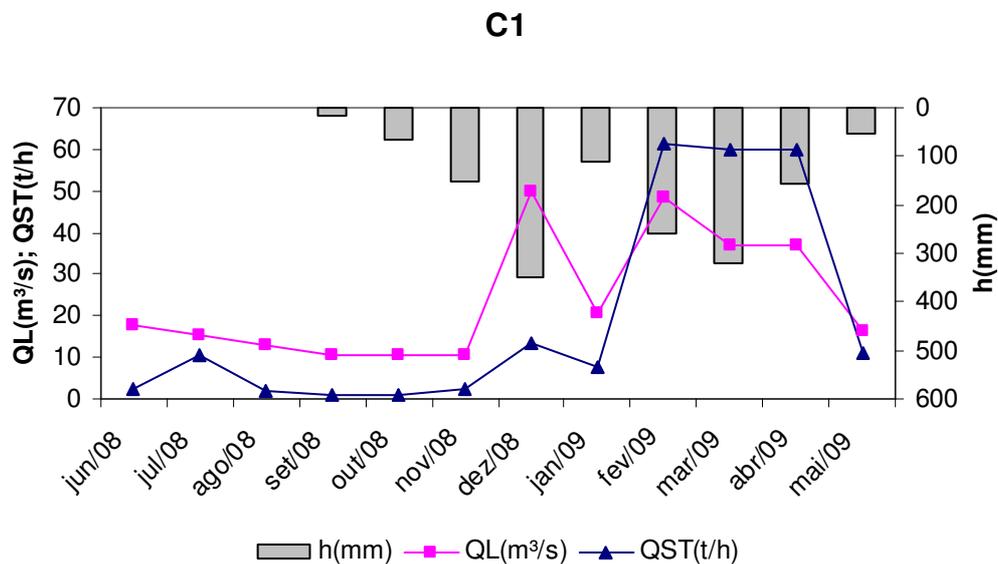


Figura 62 – Descarga sólida (t/h), vazão líquida (m3/s) e pluviometria (mm) na Estação C1.

Em dezembro de 2008, observa-se subida expressiva da vazão líquida em C1 explicado pela grande precipitação pluviométrica neste mês que não foi acompanhado pela descarga sólida pelos motivos acima expostos.

Observa-se em todas as estações que os valores de descarga sólida e vazão líquida aumentam ou diminuem em função do regime pluviométrico da região.

6.5 Distribuição de vazão entre as bacias hidrográficas na seca e cheia

Neste item apresentam-se os resultados hidrosedimentológicos divididos em períodos de cheia e seca em termos percentuais.

As Figuras 63 e 64 apresentam a distribuição de QST no período de seca e cheia em cada estação de monitoramento.

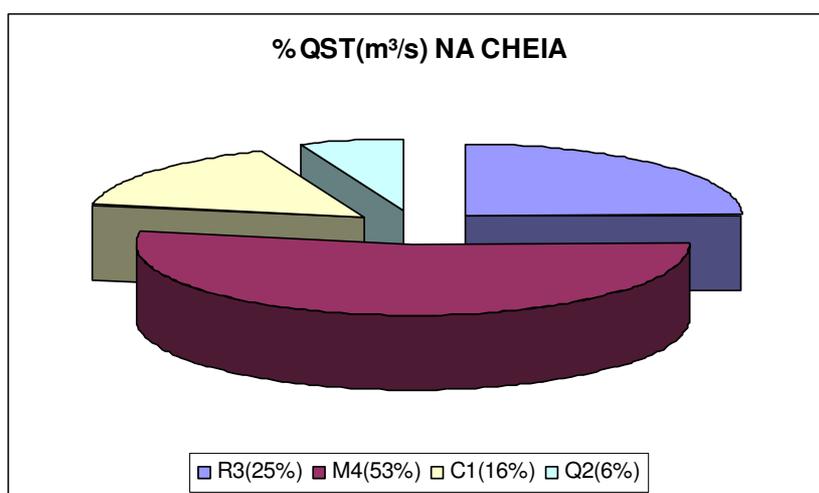


Figura 63 – Variação percentual da descarga sólida na cheia.

O Rio Manso apresenta uma produção de sedimentos de 53% e o Rio Quilombo de 6% no período de cheia, representando o maior e o menor produtor neste período.

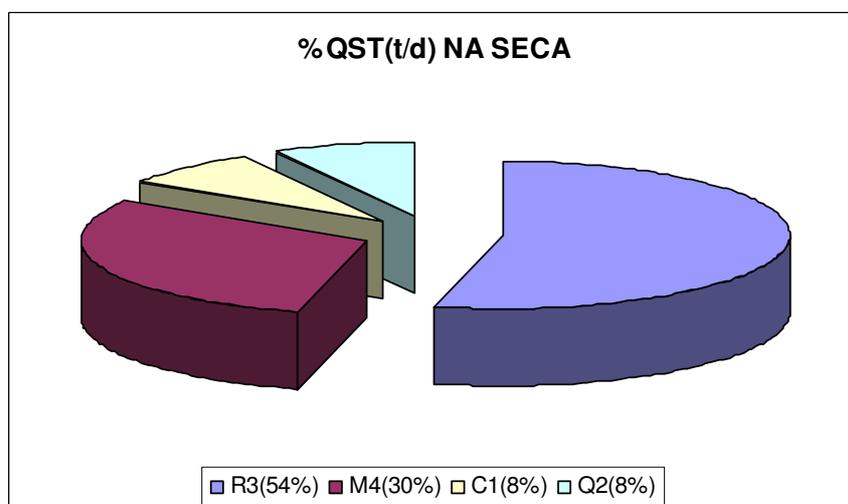


Figura 64 – Variação percentual da descarga sólida na seca.

O Rio Roncador apresenta um aporte de sedimentos de 54% da bacia hidrográfica no período de seca e os rios Casca e Quilombo 8% cada um, portanto o maior e os menores produtores.

As Figuras 65 e 66 apresentam a distribuição de QL no período de seca e cheia em cada estação de monitoramento.

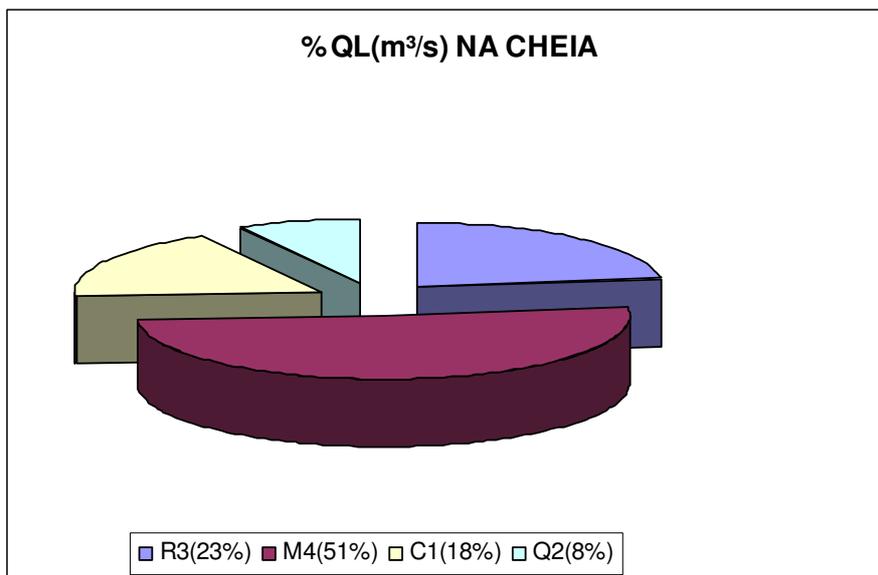


Figura 65 – Variação percentual da vazão líquida na cheia.

O Rio Manso apresenta uma produção hídrica de 51% da bacia hidrográfica no período de cheia e o Rio Quilombo 8%, portanto o maior e o menor produtor.

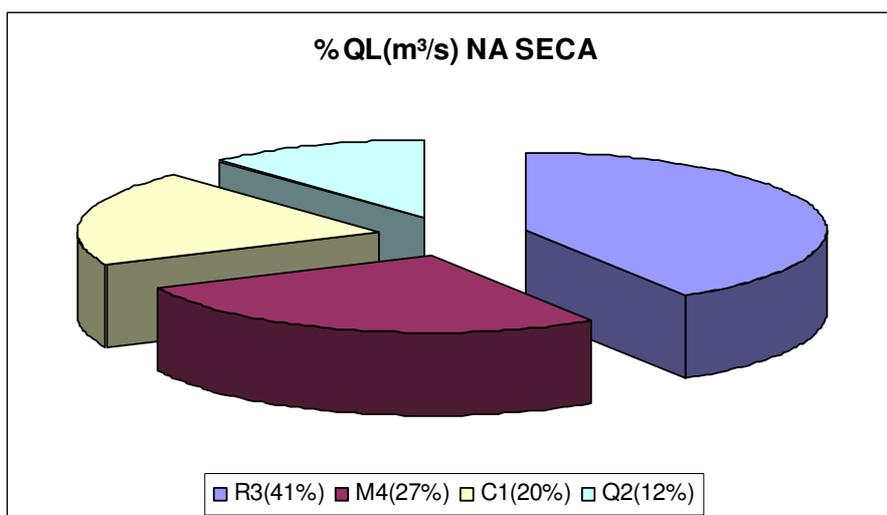


Figura 66 – Variação percentual da vazão líquida na seca.

O Rio Roncador apresenta uma produção hídrica de 41% da bacia hidrográfica no período de seca e o Rio Quilombo 12%, portanto o maior e o menor produtor.

Percebe-se que os rios apresentam comportamentos hidrológicos distintos nos períodos de seca e de cheia conforme observado também nas Figuras 60 e 61 (variabilidade em torno da média).

A bacia hidrográfica do Rio Manso apresenta litologia do Grupo Cuiabá apresentando rochas impermeáveis (FURNAS, 2002), isto se confirma na sua alta produção hídrica no período de cheia devido sua baixa capacidade de infiltração apresenta um alto escoamento superficial 51% da vazão líquida produzida na bacia.

Em contraste os rios situados nas litologias da Bacia Sedimentar do Paraná (Casca, Roncador e Quilombo) apresentam areias quartzosas altamente permeáveis, fato confirmado quando no período seco estes rios são responsáveis por 70% da vazão líquida produzida. Isto significa que houve pouco escoamento superficial no período chuvoso e grande infiltração para armazenamento dos aquíferos subterrâneos que alimentam os rios no período seco.

Considerando todo o período do projeto: o aporte líquido total que chega ao APM Manso 57,96% corresponde a Bacia do Rio Casca (Casca, Roncador e Quilombo) e 42,04% a Bacia do Rio Manso. Do aporte sólido 54,08% corresponde a Bacia do Rio Casca e 45,92% a Bacia do Rio Manso.

Na Tabela 15 são apresentadas as vazões líquidas e descargas sólidas específicas para cada sub-bacia.

Tabela 15 – Resultados específicos médios de vazão líquida (QL) e produção de sedimentos em cada sub-bacia hidrográfica.

Estação	Área (km²)	QL (m³/s)	QST (t/a)	QL. ESP. (L/s.km²)	QL.ESP. (t/ano.km²)	C's (média) (mg/L)
C1	1173	24,15	159405,54	20,59	135,9	97,64
Q2	664	13,57	78894,14	20,44	118,82	101,27
R3	1394	41,17	348862,44	29,54	250,26	62,53
M4	2602	57,22	498619,2	21,99	191,63	94,36

Analisando-se a Tabela 15, de acordo com a classificação proposta por CARVALHO (2000a), transcrita no Quadro 6, tem-se que:

A Bacia Hidrográfica do Rio Roncador e do Rio Manso apresentam uma *alta* produção de sedimentos, a Bacia do Casca e do Quilombo apresentam produção *moderada*.

O Rio Quilombo apresenta a maior concentração média anual de sedimentos em suspensão confirmando estudo apresentado em FURNAS, 2002, enquanto o Rio Roncador apresenta a menor produção média anual.

6.6 Análise dos parâmetros: concentração de sedimentos em suspensão (C's), vazão líquida (QL) e descarga sólida (QST) em função da média

Para elaboração destes gráficos utilizou-se a seguinte metodologia: foram divididos os valores mensais pelo valor médio anual e estes valores plotados em função do tempo.

Desta forma a média anual foi transformada em uma unidade para facilitar a observação das variações em torno desta média.

Os sedimentos em suspensão (C's) na bacia do Rio Quilombo (Q2) apresentam o maior afastamento em relação a média, dos rios amostrados, com picos de 4 vezes o valor médio como pode ser observado na Figura 67.

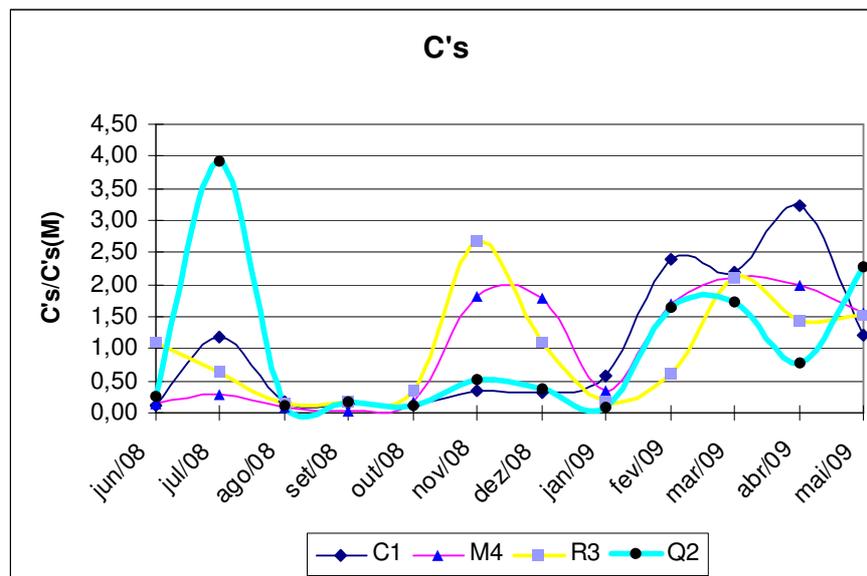


Figura 67 – Variabilidade dos sedimentos em suspensão em torno da média.

Observa-se na Figura 68 um comportamento semelhante na variação da vazão líquida em todas as estações, destacando-se apenas a estação M4 com picos de 3 vezes em relação a média no período de fevereiro e março de 2009.

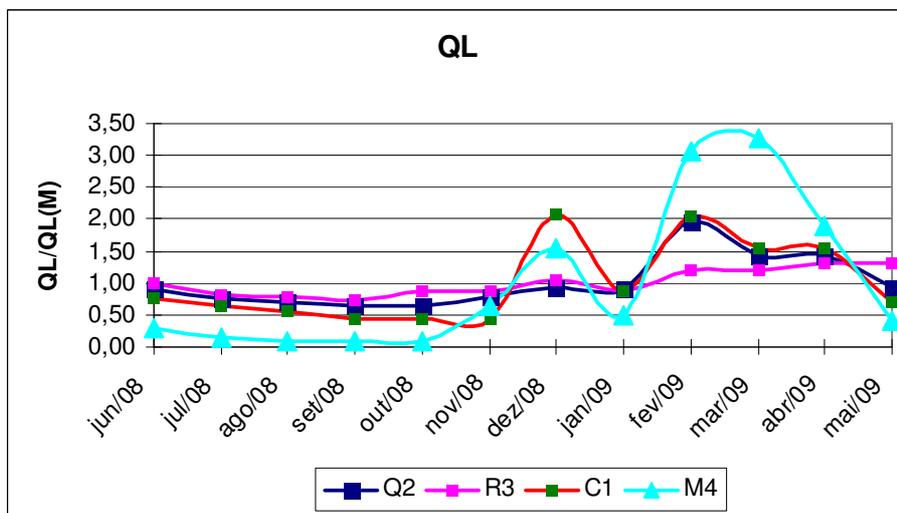


Figura 68 – Variabilidade da vazão líquida em torno da média.

A Figura 69 mostra a grande variabilidade temporal de QST. Evidenciado por picos de 2 a 4 vezes em relação a média nos meses de chuva.

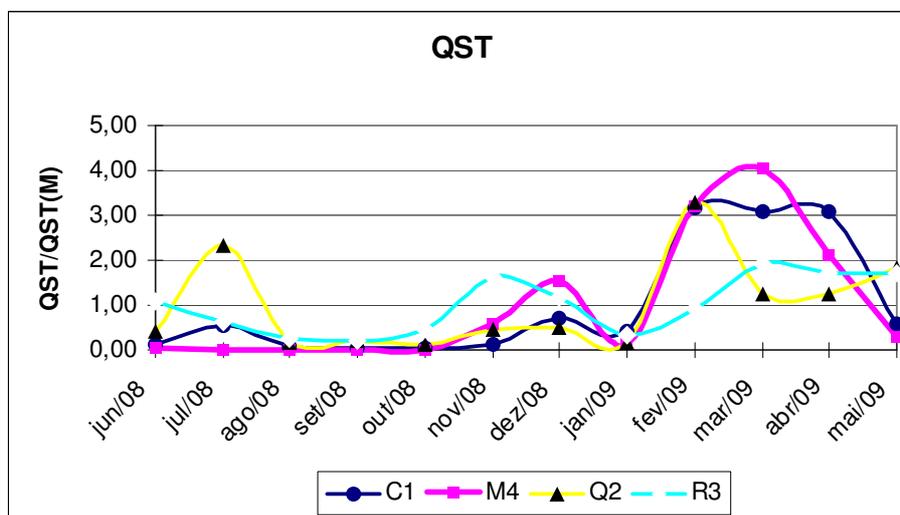


Figura 69 – Variabilidade da descarga sólida em torno da média.

6.7 Curva-chave de sedimentos

As curvas chaves de sedimentos apresentam uma série de restrições quanto a sua aplicação. Algumas são intrínsecas ao método, como o fato da curva correlacionar o

transporte de sedimentos unicamente com a vazão, sendo que na verdade ele depende de vários outros fatores, tais como a disponibilidade de material mobilizado, ocorrências anteriores de eventos de uso do solo, entre outros. Existe também a possibilidade da existência de curvas-chaves distintas para uma mesma seção durante os períodos de seca e cheia, e também a existência de curvas-chaves distintas para os diferentes períodos nos quais as curvas foram aplicadas, assumindo-se que a curva não é estacionária, considerando as alterações climáticas e as alterações ocorridas no uso do solo (BICALHO, 2006).

De acordo com o exposto a curva-chave de sedimentos apresenta-se como alternativa no cálculo do transporte de sedimentos em lugares onde não exista estudos do transporte de sedimentos e apenas valores de vazão líquida.

A curva-chave de sedimentos é obtida através de uma equação potencial do tipo, $QST = a \times QL^b$, em que “a” e “b” são coeficientes obtidos utilizando uma análise de regressão não linear.

A partir das campanhas de campo realizadas no período de junho/2008 a maio/2009 os valores de descarga sólida total (QST) foram correlacionados com os valores de vazão líquida (QL).

As Figuras 70 a 73 apresentam as curvas chaves de sedimentos (CCS) para as estações monitoradas utilizando uma série histórica de 12 medições (junho/2008 a maio/2009).

São apresentadas juntamente com as curvas as equações ajustadas e o coeficiente de determinação.

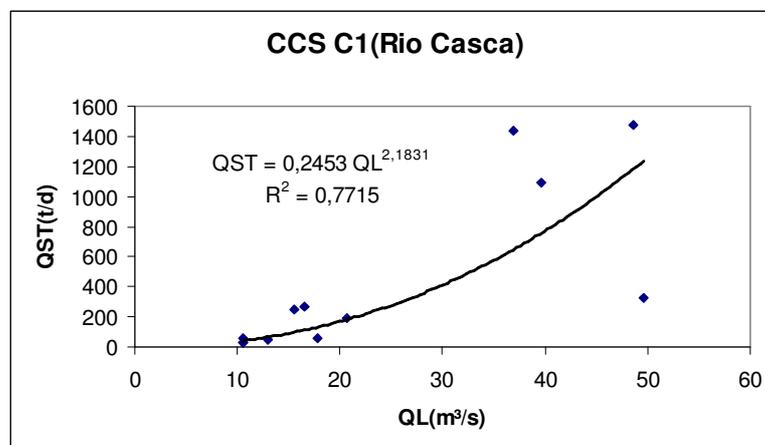


Figura 70 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Casca.

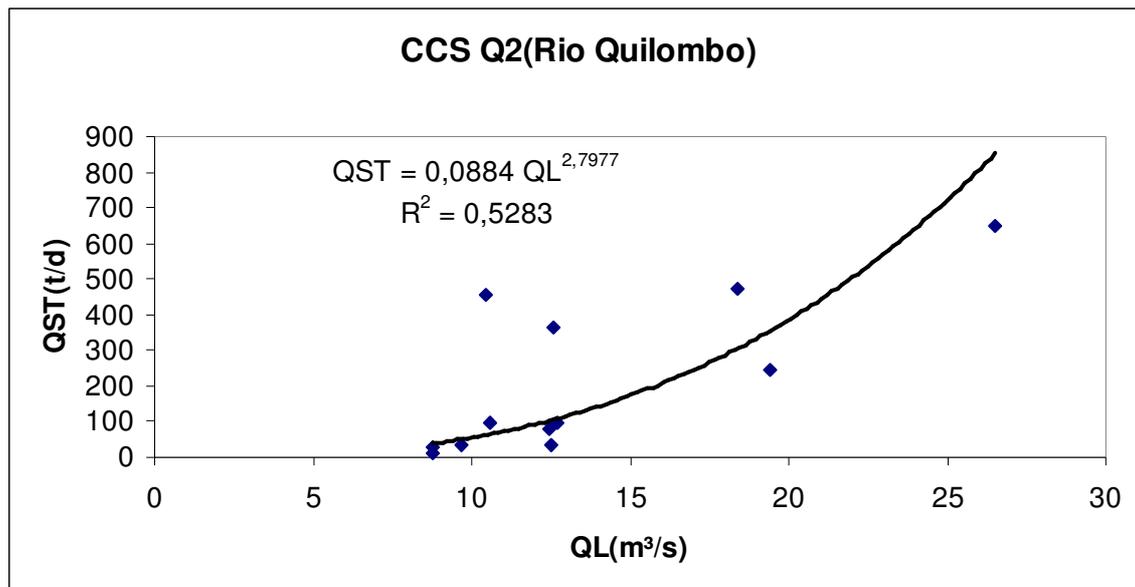


Figura 71 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Quilombo.

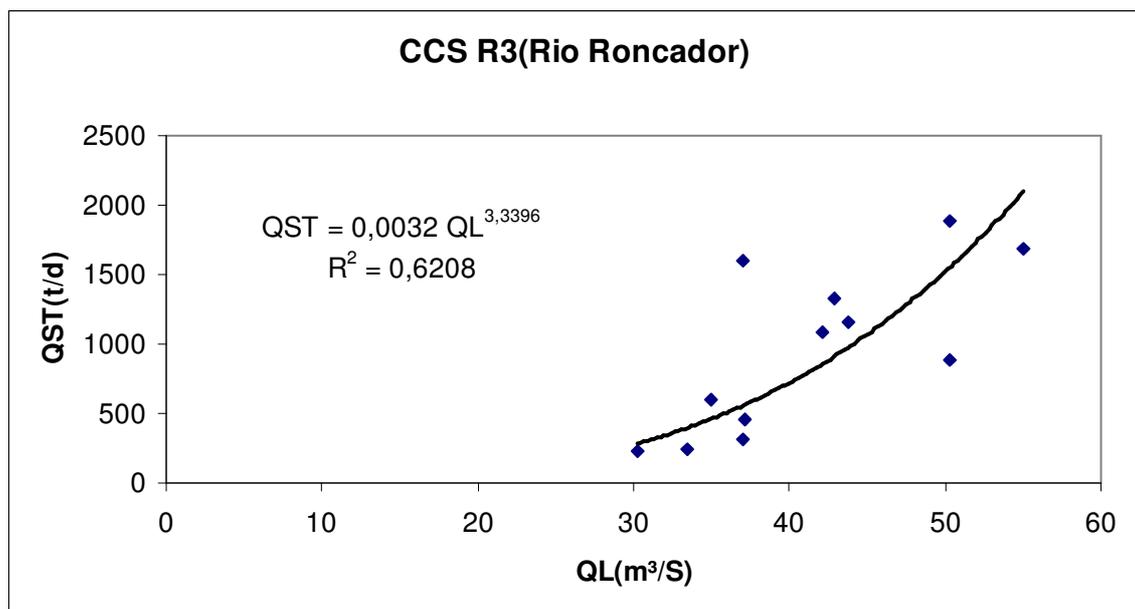


Figura 72 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Roncador.

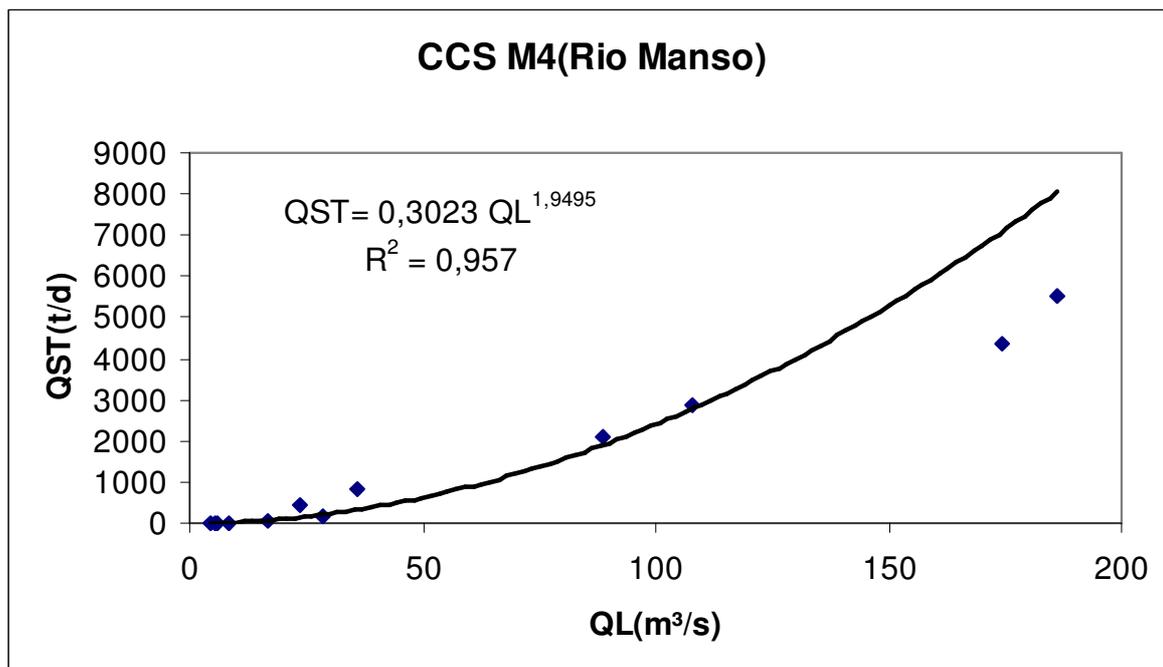


Figura 73 – Curva-chave de sedimentos (CCS) Rio Manso.

Observa-se pelas figuras que o Rio Manso apresenta a melhor correlação dos parâmetros QST x QL com $R^2 = 0,96$ enquanto o Rio Quilombo apresenta o valor de $R^2 = 0,53$.

Isto evidencia o exposto anteriormente em que QST depende de outros fatores e não somente de QL.

6.8 Curvas granulométricas obtidas

Neste item é apresentado os resultados obtidos na análise do sedimento de fundo com as curvas granulométricas definidas em cada estação no período de monitoramento.

Elaborou-se curvas granulométricas representativas dos sedimentos coletados e determinou-se em laboratório o peso específico do sedimento em cada estação.

A ABNT-NBR6502/95 considera como *areia média* aquele sedimento cujo diâmetro está situado na faixa $0,2 < \phi \leq 0,6mm$, *areia fina* de $0,06 < \phi \leq 0,2mm$, *silte* ($0,002 < \phi \leq 0,06mm$) e *argila* $\phi \leq 0,002mm$.

São apresentadas as Curvas granulométricas obtidas na estação C1, R3 e M4 uma vez que a estação Q2 apresentou leito rochoso impossibilitando a coleta de sedimento de fundo.

Todo sedimento analisado apresentou sempre uma distribuição de 97,45% de areia (média e fina) em sua composição e 2,54% de silte e argila.

Apresenta-se a seguir as curvas granulométricas obtidas nos sedimentos de fundo coletados.

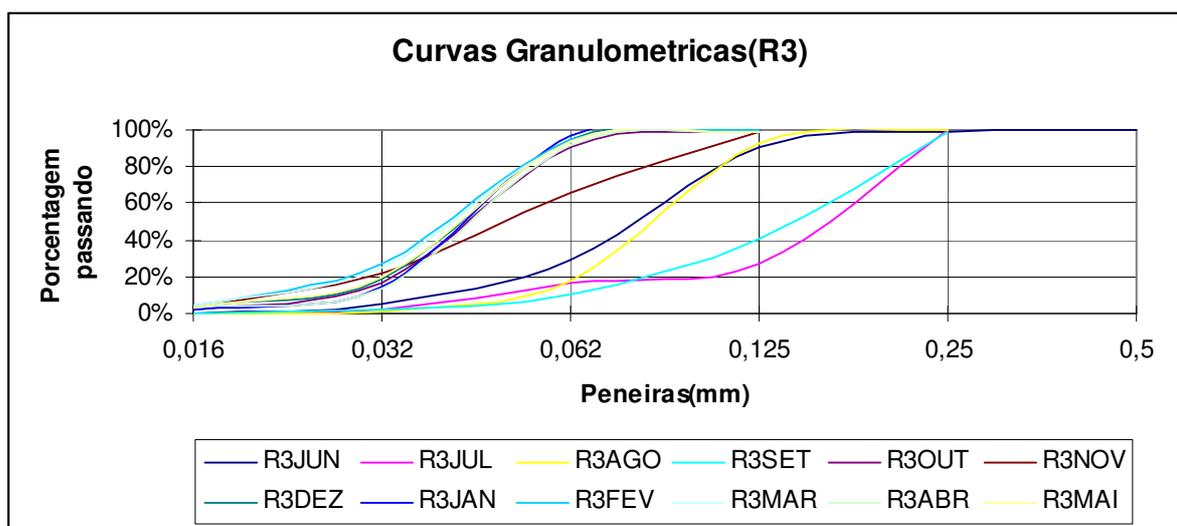


Figura 74 – Curvas granulométricas na Estação R3 (Rio Roncador).

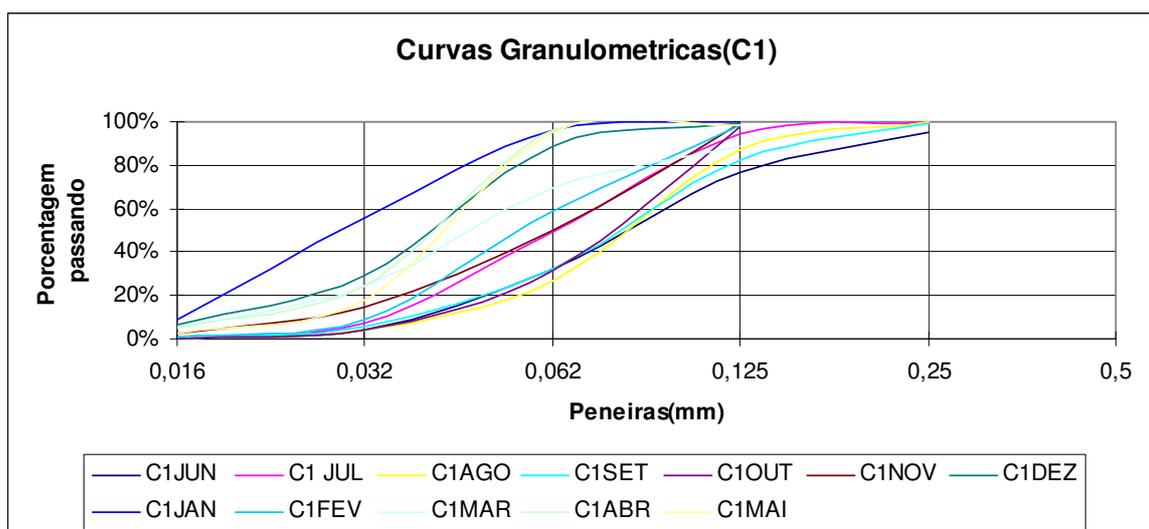


Figura 75 – Curvas granulométricas na Estação C1 (Rio Casca).

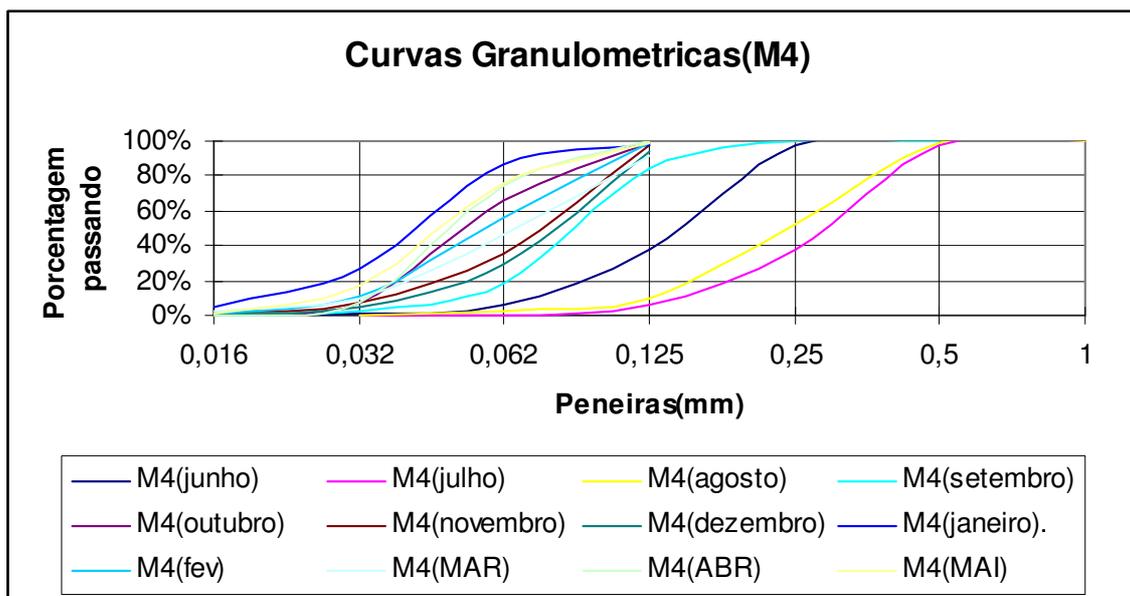


Figura 76 – Curvas granulométricas na Estação C1 (Rio Manso).

Observa-se pelo perfil das curvas granulométricas que se trata de um sedimento com granulometria uniforme uma vez que não ocorre variações abruptas no traçado das curvas.

Percebe-se em todas as estações que nos meses de seca ocorre uma tendência da curva granulométrica deslocar-se para o lado fino enquanto nos meses de chuva este deslocamento ocorre para o lado de maior granulometrias da curva.

Deduz-se que o transporte de sedimentos mais pesados é feito no período chuvoso enquanto aquele mais leve é transportado normalmente no restante do ano.

Em todos os meses amostrados os sedimentos de leito estavam na faixa de areia média e areia fina considerando silte e argila como parte da areia fina.

Isto pode ser explicado pelo fato que este sedimento foi coletado nas margens dos rios, onde a velocidade é mais lenta, daí este sedimento fino aportar nesta área.

Esta zona de deposição situa-se na margem convexa do rio enquanto a zona de erosão está localizada na margem côncava, ou seja, o rio provoca erosão numa margem e deposita o sedimento na outra formando as conhecidas praias fluviais localizadas sempre nas curvas do rio.

6.9 Avaliação da Vida Útil do APM Manso em função do assoreamento

O APM Manso pode ser considerado um grande reservatório pela classificação proposta por CARVALHO, 2000a, transcrita no Quadro 4, onde o autor sugere que para os grandes reservatórios se faz necessário estudo topobatimétrico a cada 10 anos para avaliar o nível dos sedimentos no lago formado.

Após um ano de monitoramento nos rios que alimentam o reservatório do APM Manso foram obtidos os seguintes resultados: a vazão líquida afluyente é $4,29 \times 10^9$ m³ e descarga sólida afluyente é $1,08 \times 10^6$ toneladas de sedimentos conforme Tabela 14.

De posse dos valores afluentes ao reservatório de vazão líquida e descarga sólida anual, peso específico dos sedimentos (adotado), porcentagem dos sedimentos afluentes que fica retida (eficiência de retenção) realizou-se a estimativa da vida útil do reservatório.

Para avaliação da eficiência de retenção do reservatório utilizou-se a Curva de Brune (Figura 11), e para cálculo do volume de sedimentos uso-se um peso específico $\gamma(ap) = 1,2t / m^3$ adotado segundo CARVALHO, 2008 para grandes reservatórios.

O APM Manso apresenta um volume total de $7,337 \times 10^9$ m³ e um volume útil de $2,951 \times 10^9$ (FURNAS, 2002) sendo assim seu volume morto é de $4,386 \times 10^9$ m³.

Um reservatório terá sua vida útil terminada quando 80% do seu volume morto estiver assoreado (LINSLEY & FRANZINI, 1978) e CARVALHO (2008).

Para calcular a vida útil do APM Manso, dividiu-se o volume morto em 5 partes de volume ($\Delta V = 0,88 \times 10^9$) onde cada uma representa 20% do total conforme a Tabela 16, adaptada de (LINSLEY & FRANZINI, 1978).

Para definição do quociente capacidade/afluência utilizou-se a afluência líquida total de $4,29 \times 10^9$ m³ (Tabela 14).

Após as considerações acima foi encontrado um tempo de 4144 (quatro mil cento e quarenta e quatro) anos para que 80% do volume morto do APM Manso seja assoreado (final de sua vida útil) conforme evidencia a Tabela 16, ressaltando que este volume corresponde a 60% do volume total do reservatório.

Na realidade o assoreamento dos reservatórios não pode ser evitado, mas pode ser retardado. Uma das maneiras de se conseguir é selecionar um local onde o fluxo sólido seja naturalmente baixo (LINSLEY & FRANZINI, 1978).

Tabela 16 – Cálculo da vida útil do APM Manso.

Capacidade 10 ⁹ (m ³) $\Delta V=0,88$	Quociente capacidade afluência	Eficiência de Retenção %		Volume de sedimentos Retidos		Diferença na Capacidade 10 ⁹ (m ³)	Numero de Anos para assorear (10 ³)
		Vol. Indicado	Média Incrementado.	Ton	m ³		
1	2	3	4	5	6	7	8=7 / 6
4,39	1,01	96					
3,51	0,82	95	95,5	1036921,4	864101,2	0,88	1,018
2,63	0,61	94	94,5	1026063,6	855505	0,88	1,029
1,76	0,41	93	0,35	1015205,8	846004,8	0,88	1,04
0,88	0,21	91	92	998919,1	832432,6	0,88	1,057
TOTAL							4,144

Simulou-se duas outras possibilidades considerando uma afluência líquida e sólida, cinquenta e cem por cento maiores supondo a hipótese de nossos resultados estarem subestimados.

Para este novo cenário foram obtidos os tempos de vida útil para o APM Manso de 3474 anos e 2718 anos.

Com base na série descargas líquidas disponíveis no local da barragem, a descarga sólida média anual afluente ao reservatório foi avaliada em $1,37 \times 10^6$ t/ano. Admitindo-se peso específico de $0,97 \text{ tf/m}^3$ para o material transportado, o volume sólido médio anual afluente ao reservatório seria igual a $1,416 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. A partir dessas premissas obteve-se o período de aproximadamente 800 anos de vida útil para o reservatório (FURNAS, 2002).

Este trabalho encontrou um aporte anual sólido de $1,08 \times 10^6$ t/ano e admitindo um peso específico de $1,2 \text{ t/m}^3$ tem-se um volume sólido médio de $9,04 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Simulou-se o também o cálculo da vida útil do reservatório utilizando o volume total de $7,337 \times 10^9 \text{ m}^3$ e foi encontrado o tempo de 5211 anos para que 80% de sua capacidade seja tomada pelos sedimentos produzidos na bacia hidrográfica.

6.9.1 Resumo da descarga sólida anual específica e vazão líquida anual específica e nos afluentes (Casca, Manso, Quilombo e Roncador) e aporte anual no APM Manso

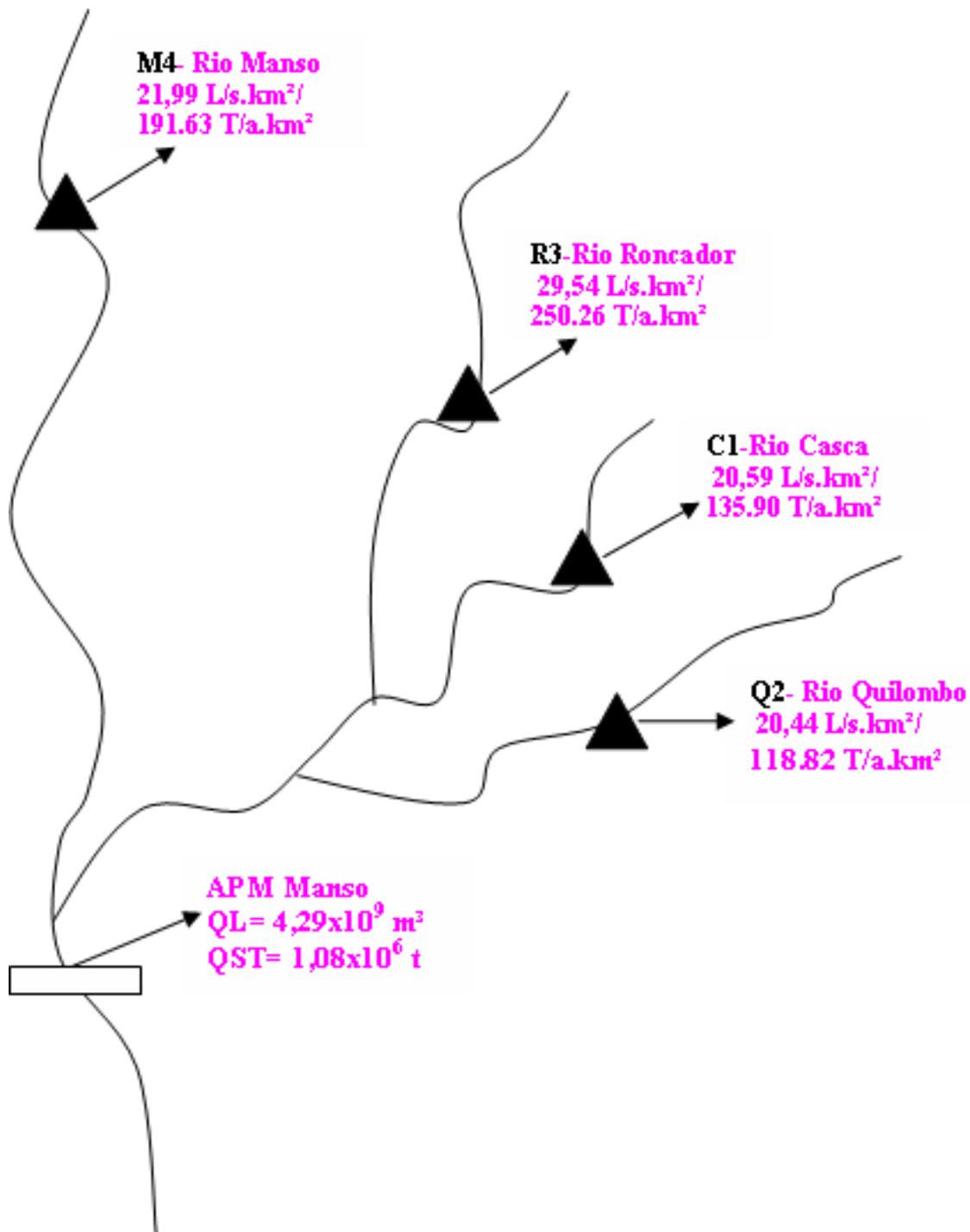


Figura 77 – Resumo da descarga sólida em cada ponto de contribuição e afluência anual no APM Manso.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando o período de análise, os resultados hidrosedimentológicos obtidos e as limitações intrínsecas a metodologia utilizada pode-se fazer as seguintes conclusões:

- O APM Manso recebe um aporte anual sólido de $1,08 \times 10^6$ toneladas de sedimentos e um aporte líquido de $4,29 \times 10^9$ metros cúbicos de água;
- A Bacia hidrográfica do Rio Casca (Casca, Quilombo e Roncador) apresenta maior produção total anual líquida (57,96%) e sólida (54,08%), superando a Bacia do Rio Manso;
- Os rios Roncador (250,26 t/ano km²) e Manso (191,63 t/ano.km²) apresentam alta produção de sedimentos enquanto os rios Casca (135,90 t/ano.km²) e Quilombo (118,82 t/ano.km²) apresentam produção moderada de sedimentos.
- A bacia do Rio Roncador apresenta a maior produção específica de sedimentos sendo, portanto a mais impactada pela ação humana especialmente pelo uso agrícola do solo na região de Campo Verde;
- O Rio Quilombo apresenta a maior concentração média anual de sedimentos em suspensão de 101,27mg/l.
- A pluviosidade média da bacia hidrográfica é de 1493 mm anuais, tendo a Bacia do Rio Roncador o maior total anual de 1619 mm durante o período de observação.
- Após a definição das curvas-chaves de vazão líquida e da descarga sólida ficou mais simples e rápido o monitoramento hidrosedimentológico no APM Manso;
- Não se pode fazer uma análise da evolução da produção de sedimentos na bacia hidrográfica desde a implantação do APM Manso, pois não existem estudos anteriores para comparação;
- O volume morto do reservatório destinado ao acúmulo de sedimentos representa 60% do volume total (superdimensionamento);
- A vida útil do reservatório (4144 anos) quando comparados com o apresentado no projeto técnico original (800 anos/FURNAS, 2002) indicam que foi encontrado uma vida útil muito maior que a do projeto apresentado;

- Esta diferença temporal na vida útil talvez seja uma alguma variação nas considerações adotadas no projeto original tais como: afluência anual líquida e sólida, pois eles se basearam em modelos matemáticos e neste trabalho considerou-se os resultados medidos;
- A diferença geológica entre as bacias dos rios Manso (Grupo Cuiabá) e Casca (Bacia Sedimentar do Paraná) parece ser um fator decisivo no regime fluviométrico dos rios da região nos períodos de seca e cheia, haja vista a variação da vazão líquida em torno da média ocorrida no Rio Manso, não observada nos outros rios da Bacia do Casca.
- A produção de sedimentos é função direta do regime pluviométrico na bacia hidrográfica.

Considerando o período de análise, os resultados hidrosedimentológicos obtidos e as limitações intrínsecas a metodologia utilizada recomenda-se que:

- Realização de estudo topobatimétrico no APM Manso para comparação com este trabalho e monitoramento da disposição dos sedimentos no reservatório;
- Realização de estudo para avaliar o impacto da ausência dos sedimentos na água para o meio ambiente a jusante, especificamente o pantanal;
- Monitoramento sistemático da produção de sedimentos para avaliar o nível de conservação do solo nas bacias hidrográficas a montante do reservatório;
- Aprofundamento das pesquisas em transporte de sedimentos nesta região através de metodologias diferentes ao método simplificado de Colby (1957) para comparação com este trabalho.

8 BIBLIOGRAFIA

Nota: A bibliografia abaixo indicada não foi toda referenciada neste trabalho.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Tadeu Dote Sá. **Recuperação (Reabilitação) de áreas degradadas**. Cuiabá/MT: ABES, 2002.

ABDOULAEV, S. e A. STAROSTIN, **Internal structure of non-line mesoscale convective system in southern Brazil**, In: VII Conference on Mesoscale Processes, PP. 507-508, Reading, United Kingdom, setembro, 1996

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistema de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso. NBR ISO 14001**. Rio de Janeiro/RJ, 1996.

ABRH. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. **Assoreamento de reservatório e erosão à jusante**. III Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Comissão de Engenharia de Sedimentos. Rio de Janeiro/RJ: ABRH, 1998.

ADAS, M. **Estudos de geografia do Brasil**. São Paulo/SP: Moderna. ed 1, 1976.

ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. São Paulo/SP: Edgard Blücher, 2005.

ALHO, C. J. R.; P.N. DA CONCEIÇÃO; R. CONSTANTINO; T. SCHLEMMERMEYER. **Fauna Silvestre da Região do rio Manso – MT**, 1 ed., 2000, Editora. IBAMA, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, Brasília, DF.

ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. O. **Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: Análise da UHE Mascarenhas, ES**. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado/RS, 1993.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistema de informações georreferenciadas de energia e hidrologia – HIDROGEO**. CD-ROM n.º 6 – Bacia do Rio Paraná, 2000.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **HidroWeb Mapas Online, 2001**. Disponível em <http://www.hidroweb.aneel.gov.br>. Acesso em outubro de 2007.

ANTONELI, V.; PORTO M. F. A; SOARES, P. F. **Análise da produção de sedimentos: Estudos de caso da bacia do Arroio Boa Vista – Guarapiranga/PR**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB, nov., 2005.

AYRES, R. M. **Avaliação indireta das ações antrópicas no meio físico e os impactos sedimentológicos na bacia do rio Cuiabá**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. COPPE-UFRJ/UFMT, Rio de Janeiro/RJ, 2002.

AYOADE, J.O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. Ed. Bertrand Brasil, 3^o edição, Rio de Janeiro/RJ, 1991.

Asselman, N.E.M. **Fitting and interpretation of sediment rating curves**. Journal of Hydrology (2000).

BARROS, A. M.; SILVA, R. W. de.; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; SOUZA JUNIOR, J. J. de.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S. da.; PALMEIRA, R. C. de. B. & TASSINARI, C. C. G. 1982. Geologia, Folha SD.21/Cuiabá. BRASIL/Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral, **Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 26)**, p. 25 – 192, Rio de Janeiro, RJ.

BASTOS, C. **Mecânica dos solos**. Apostila: Textura e Granulometria dos Solos. DMC/FURG. Disponível em <http://www.fag.edu.br>. Acesso em 21 de janeiro de 2009.

BARTH, F. T. **Fundamentos para a gestão de recursos hídricos**. In: BARTH, F. T. *et al.* (ed.). Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo/SP: ABRH, cap. 1, pp. 1-91, 1987.

BEARD, L. R. **Statistical methods in hydrology**. Sacramento/U.S: Army Corps of Enginners, 1962.

BEARD, L. R. **Flood control operation of reservoir**. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, v. 89, Proc. Paper 3380, 1963.

BENSON, M. A.; DALRYMPLE, T. **General field and office procedure for indirect discharge measurements**. US Geological Survey – Book 3: Chapter A1. Washington, DC, 1968.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo/SP: Ícone, 1990.

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Publicação PTARH.DM-95/2006. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2006.

BLOM, F. **Statistical estimates and transformed beta estimates**. New York: Wiley, pp. 68-75, 1958.

BOYDEN, S. **An integrative ecological approach to the study of human settlements**. Paris: UNESCO, pp. 137, 1979.

BORDAS, M. P.; SEMMELMAN, F. R. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: TUCCI, C. E. M. (organizador) (2001) Hidrologia – Ciência e Aplicação. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil, p. 915-943, 1993.

BRASIL. Leis. **Política nacional do meio ambiente**: Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília/DF, 1981.

BRASIL. Leis. **Política nacional de recursos hídricos**: Lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Brasília/DF: Diário Oficial da União de 09 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL** Folha SE.21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982b. v. 27, 448 p.

BRONSDON, R.K., NADEN, P.S. **Suspended sediment in the rivers Tweed and Teviot**. The Sciences of the Total Environment, 2000

Calculation of total bed-material discharge by the Colby 1957 method acesso em 20/12/2008 através de arquivo da Rede Internacional de Computadores (INTERNET), Endereço eletrônico: <http://ponce.sdsu.edu/onlinecolby1957.php>

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. J. **Economia dos recursos hídricos**. Salvador/BA: Edufba, 2002.

CARVALHO, N. O.; CUNHA, S. B. **Contribuição de Sedimentos do Amazonas para o Oceano**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória – ES, 1997.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. **Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI30**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n.2, p.243-249, maio/ago. 1989.

CARVALHO, Newton de Oliveira, e LOU, Wellington Coimbra, **Evaluation of the useful life of a reservoir on the river Manso. Mato Grosso State, Brazil: a case study**. IAHS Publication No. 197. The Hydrological Basis for Water Resources Management – proceeding. Beijing, China. 1990

CARVALHO, N. O. **Assoreamento e proteção de reservatórios**. V Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Presidente Prudente/SP: ABGE, 1998.

CARVALHO, N. O.; JÚNIOR, N. P. F.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília/DF: ANEEL. set., 2000a.

CARVALHO, N. O.; JÚNIOR, N. P. F.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília/DF: ANEEL. set., 2000b.

CARVALHO N. O.; SALGADO, J. C. M.; ROSS, J.; RUIZ, N. C. P.; SILVA, L. F. A.; MESQUITA, J. B.; GOULART NETTO, A. A.; SILVA, L. P. **Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB. nov, 2005.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência, 2008.

CAVINATTO, V. **Caracterização hidrológica do estado de Mato Grosso**. PRODEAGRO/SEPLAN/FEMA. Cuiabá/MT: 1995.

CETESB. Companhia de Tecnologia Ambiental. **Coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo/SP, 1988.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Dicionário de termos técnicos de saneamento ambiental**. São Paulo/SP: CETESB / ASCETESB, 1985.

CHEVALLIER, P. **Aquisição e processamento de dados**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre/RS: Editora da Universidade, ABRH, 1995.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw Hill, 1964.

COLBY, B.R., **Relationship of Unmeasured Sediment Discharge to Mean Velocity**. Transactions Amer Geophysics Union, (1957).

COLBY, B.R., HEMBREE, C.H. **Computation of total sediment discharge: Niobrara river near Cody, Nebraska.** US Geological Survey, Water-Supply Paper 1 357. Washington, DC. 1 955.

COLBY, B.R., HUBBELL, D.W. **Simplifield methods for computing total sediment discharge with the modified Einstein procedure.** US Geological Survey, Water-Supply Paper 1 593. Washington, DC 1 955.

CORDERY, I. **Some effects of urbanisation on streams.** Civil Engineering Transation. Institution Engeneering of Autralia. v. CE 18, n. 1, 1976.

COUTINHO, A.C Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a Economia local .Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo(USP)São Paulo/SP, 2005.

CPRM. **Regionalização de vazões da sub-bacia 59.** Nishioka, L. Y. (chefe do projeto). Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL. Convênio: 015/2000 ANEEL – 013/CPRM/00. Tomo I. Texto (Revisado), Executado pelo Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial DHT. Superintendência Regional de São Paulo. SUREG-SP. São Paulo/SP, 2002.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte.** Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2002.

EINSTEIN, H. A. **The Bed-load function for sediment transportation in open channel flows.** US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Technical Bulletin no. 1 026. Washintog, DC (1950).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Areia Quartzosa / Neossolo Quartzarênico.** Disponível em: www.agencia.cnptia.embrapa.br . Acesso em 02/06/2009. EMBRAPA, 2009.

FEMA. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Qualidade da água dos principais rios da bacia do Alto Paragui.** Cuiabá/MT, 1995-1996.

FERNANDES, C. J.; VIANA, R. R. **Recursos hídricos de Mato Grosso.** Coletânea Geológica de Mato Grosso. Cuiabá/MT: Ed.UFMT. v. 3, 2006.

FURNAS. Furnas Centrais Elétricas S. A. **Aproveitamento múltiplo de Manso, Memória Técnica**. Rio Janeiro/RJ, 2002.

GLYSSON, G. Douglas (1987). **Sediment-transport curves**. US Geological Survey, Open-file Report 87-218. Reston, VA.

ITISA. Itiquira Energética S.A. AHE Itiquira. **Projeto de manejo de sedimentos**. 2007.

IGLESIAS, D. V. **Aproveitamento de águas continentais de superfícies - barragens**. 6° Apostila (Disciplina: Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Sanitária. UFMT. 1994a.

IGLESIAS, D. V. **Aproveitamento de águas continentais de superfícies - reservatórios**. 7° Apostila (Disciplina: Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Sanitária. UFMT. 1994b.

INMET, 1991. **Normais Climatológicas (1961/1990)**, Instituto Nacional de Meteorologia/ Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, BR.

INFANTI, J.N. & FORNASARI, F.N. Processos de dinâmica superficial. *In: Geologia de Engenharia*. São Paulo/SP: ABGE, 586p., 1998.

ISO (1985). **Sand fluxmeter, standard version**. ISSO/TC 113/SC-N198. Wallingford, UK.

ISO (1977). **Liquid flow measurment in open channel**. Bed material sampling. ISO 4364. Wallingford, UK.

JACCON, G.; CUDO, K. J. **Hidrologia: CURVA-CHAVE, Análise e Traçado**. Brasília/DF: DNAEE. 1989.

JANSSON, M. **Estimating a sediment rating curve of the Reventazón river at Palomo using logged mean loads within discharge classes**. Journal of Hidrology, 183. (1995).

LARA, J. M. **Computation of “Z’s” for use in the modified Einstein procedure**. US Bureau of Reclamation. Denver Colorado. 1 966.

LENZI, M. A.; MARCHI, L. **Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites**. Catena 39, 2000

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. Universidade de São Paulo. São Paulo/SP: McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1978.

- LIMA, D. R. O. **Diagnóstico de chuvas e previsão meteorológica para a bacia hidrográfica do rio Manso**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 2005.
- MARTINS M. E.; COIADO, E. M. **Produção de sedimentos em micro bacia agrícola cultivada com cana-de-açúcar**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte/MG, 1999.
- MIGLIORINI, R. B. **Hidrogeologia em Meio Urbano – Região de Cuiabá e Várzea Grande – MT**. Tese de Doutorado. USP, São Paulo/SP, 1999.
- MOURA, R. M. P. **Análise ambiental da APM-Manso e propostas para uma operação ecológica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFMT. Cuiabá/MT, 2006.
- MORENO, G.; HIGA, T. C. S. **Geografia de Mato Grosso: território-sociedade-ambiente**. Cuiabá/MT: Entrelinhas, 2005.
- NAGHETTINI, M. C. **Engenharia de recursos hídricos: Notas de aula**. Texto didático. Curso de Engenharia Civil. UFMG, 1998.
- ODI, N. L. G. **Estudo dos fluxos superficiais de vapor d'água na área da represa do rio Manso/MT: Modelagem e Simulações**. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá/MT, 2005.
- OLD, G. H.; LEEKS, G. J. L.; PACKMAN, J. C.; SMITH, B. P. G.; LEWIS. S.; HEWITT, E. J.; HOLMES, A. Y. **The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanized catchment: Bradford, West Yorkshire**. The Science of the Total Environment, v. 314-316, 2003
- OLIVEIRA, L. C. K. **Papel do Monitoramento e da Previsão de Vazões no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE–UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 2003.
- PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. D. (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre/RS: ABRH, 628 p, 2003.
- PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; COSTAS, M. F. T.; SANTOS, F. A. **Concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica em urbanização**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro/RJ, 2001.

PARANHOS, R. M.; PAIVA, J. B. D. **Avaliação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba/PR, 2003.

PAVANELLI, D.; PLAGLIARANI, A. **Monotoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from na apennine catchment basin, Italy.** Biosystems Engineering, 83(4), p.463-468, 2002.

PEREIRA, R. S.; NETO A. S.; TUCCI, C. E. M. **Princípios da Hidrometria,** Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRS, Porto Alegre/RS, 2003.

PICOUET, C., HINGRAY, B., OLIVRY, J.C. **Empirical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin.** Journal of Hidrology, 2001.

PORTO, R. L. L. *et al.* **Medição de vazão e curva-chave.** Hidrologia aplicada. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/SP, 2003.

RBE. Revista Brasileira de Engenharia. **Caderno de recursos hídricos.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro/RJ. v. 7, 1989.

RAMOS, C.L., CURI, F.S., KOSMINSKY, C. **Estudo sedimentológico na região metropolitana de São Paulo.** Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.03, p.436-444. Rio de Janeiro/RJ. 1991

RADAMBRASIL. **Projeto-Levantamento de Recursos Naturais da Folha SD 21.** Cuiabá/MT. Rio de Janeiro/RJ, vol. 26, p. 193-256, 1982.

ROCHA, J. P. G. **Avaliação das ações antrópicas no meio físico a partir dos impactos sedimentológicos na bacia do rio Coxipó.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental. COPPE-UFRJ/UFMT. Rio de Janeiro/RJ, 2002.

RODRIGUES JUNIOR, J. C.; MORTATTI, J.; MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A. **Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do rio Piracicaba: Estimativa da erosão mecânica.** Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória/ES. 1997.

SALOMÃO, F. X. T.; RIBEIRO, J. C. **Processos erosivos na bacia do Alto Rio da Casca/MT.** Instituto de Geociências. São Paulo/SP, 2003.

SALOMÃO, F. X. T. Rio Cuiabá: A geologia e a Problemática da Erosão e do Assoreamento. *In*: Ferreira, M. S. F. D. (Org). **O Rio Cuiabá como subsidio para a Educação Ambiental**. Cap.2, Cuiabá/MT: EdUFMT, 1999.

SANTOS, I. *et al.* **Hidrometria aplicada**. Curitiba/PR: EHPA, 2001.

SANTOS V. S. **Análise Ambiental Integrada do Componente Solo como Subsidio para Avaliação da Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral em Jaciara-Mato Grosso-Brasil**. Dissertação de Mestrado. UFSCAR, SÃO CARLOS/SP, 2007.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria/RS**. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2005.

SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Editora UESC. Ilhéus-BA 2002

SHIRASHI, F. K. **Avaliação dos efeitos da construção do APM Manso no controle das cheias nas áreas urbanas da cidade de Cuiabá e Várzea Grande**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. COPPE-UFRJ/UFMT. Rio de Janeiro/RJ, 2002.

SILVESTRI M.; WERLE, H. J. S. **Uma análise preliminar do patrimônio arqueológico da região de Chapada dos Guimarães – Mato Grosso sob a perspectiva do turismo (1996)**. ICHS. UFMT. Disponível em www.chapadadosguimaraes.tur.br. Acesso em 24 de janeiro de 2009.

SMITH, B. P. G.; NADEN, P. S.; LEEKS, G. J. L.; WASS, P. D. **The influence of storms events on fine sediment transport, erosion and deposition within a reach of the river Swale**, Yorkshire, UK. *The Science of the Enviroment*. 314-316, 2003.

SIVIERO, M. R. L.; COIADO, E. M. **A produção de sedimentos a montante de uma seção no rio Atibaia associada a descarga sólida transportada**. *In*: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte/MG, 1989.

SPERLING, E. V. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte/MG, 137p., 1999.

SONDOTÉCNICA. **Relatório de impacto ambiental da UHE Manso**. Furnas. Cuiabá/MT, 1987.

STRAND, Robert I. **Design of small dams: sedimentation** – Appendix H. Bureau of Reclamation. Washington, DC, 1974.

SUN, H.; CORNISH, P. S.; DANIELL, T. M. **Turbidity-based erosion estimation in a catchment in south Austrália**. Journal of Hydrology, 253, 2001.

TAMDJIAN, J. O.; MENDES, I. L. **Geografia Geral e do Brasil: estudos para compreensão do espaço**. São Paulo/SP : FTD, 2004.

TUCCI, C. E. M. ; SILVEIRA, A. L. L. ; BENETTI, A. *et al.* **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre/RS: UFRGS/ABRH, 2007.

UFLA. Universidade Federal de Lavras – Cambissolo e Neossolo Litólico. Obtido em 02/06/2009 através de arquivo da Rede Internacional de Computadores (INTERNET). Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/cerrados/portugues/ccambissolo2.htm>. Acesso em 02/06/2009.

USA DEPARTMENT OF AGRICULTURE: **Influences of Vegetation and Watershed Treatment on Run-Off, Silting, and Stream Flow**. Washington, D.C. 1940.

VASCONCELOS, L. A. **Processos Erosivos na Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Rio Itiquira: Bases Técnicas Para Controle Preventivo**. Dissertação de Mestrado, UFMT, Cuiabá-MT, 2007.

WASS, P. D.; Marks, S. D.; Finch, J. W.; Leeks, G. J. L.; Ingram, J. K. **“Monitoring and preliminary interpretation of in-river turbidity and remote sensed imagery of suspended transport studies in the Humber catchment”**. The science of the total environment. 194-195, 1997.

WERLE, H. J. S; SILVA, U. F. **Um estudo preliminar das nascentes do rio Cuiabá: Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito**. In: IV Encontro de Iniciação Científica, 1996, Cuiabá. Anais do IV Encontro de Iniciação Científica. Cuiabá-MT. Gráfica da Universidade Federal de Mato Grosso, 1996.

BIBLIOGRAFIA EM APUD

Nota: Bibliografia citada por outro autor, mas não consultada no original.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM, ELETROBRAS, Rio de Janeiro/RJ, 1994.

COIADO, E. M. Assoreamento de Reservatórios. In: PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. (organizadores). **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre/RS, 2001a.

GUY, H. P. NORMAN, V.W. **Field methods for measurement of fluvial sediment**. Block 3, Applications of Hydraulics, USGS, Washington. DC, 1970.

ICOLD, International Commission on Large Dams. **Sedimentation control of reservoirs/Maitrise de l'alluvionnements. des retenues**. Committee on Sedimentation of Reservoirs. Paris, 1989.

SILVA, D. L. M. e BRAGA, R. S. “**Sistema de monitoramento hidrológico durante a fase de enchimento do reservatório do APM Manso**”, In: Anais I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, Brasília, DF, 2000.

STEVENS, JR ., YANG, C.T. , HERBERT H. Sumamary and use of selected fluvial sediment-discharge formulas. USGS, Water Resources Investigations Report 89-4026. Denver, CO, 1989.

YANG, S., ZHAO, Q., BELKIN, I. **Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities**. Journal of Hidrology, 263, p. 56-71, 2002.

YUQIAN, L . Manual on operational methods for the measurement of sediment transport. WMO, Word Metereological Organisation. Geneva, Switzerland, 1989.

9 APÊNDICES

FICHA DESCRITIVA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMETRICAS MONITORADAS E SÉRIES HISTÓRICAS DISPONÍVEIS

Quadro 9 – Estação C1.

Código	66171400
Série histórica (hidroweb)	12/02/2000 a 07/12/2001
Instalação	12/02/2000
Nome	FAZENDA CASTELONA
Código Adicional	RESOLUÇÃO/396
Bacia	PLATINA
Sub-bacia	RIO CUIABÁ
Rio	CASCA
Estado	MATO GROSSO
Município	CHAPADA DOS GUIMARÃES
Responsável	ANA
Operadora	ANA
Latitude	-15:08:28,6
Longitude	-55:29:53,2
Altitude (m)	302 m
Área de Drenagem (km²)	1173

Fonte: [http://www.ana.gov.br/\(hidroweb\)](http://www.ana.gov.br/(hidroweb)) com adaptações.

Quadro 10 – Estação Q2.

Código	66174000
Série histórica(hidroweb)	24/08/1998 a 07/09/2002
Instalação	19/02/1987
Nome	ACORA MAN - F7
Código Adicional	RESOLUÇÃO/396
Bacia	PLATINA
Sub-bacia	RIO CUIABÁ
Rio	QUILOMBO
Estado	MATO GROSSO
Município	CHAPADA DOS GUIMARÃES
Responsável	FURNAS
Operadora	FURNAS
Latitude	-15:12:48
Longitude	-55:38:28
Altitude (m)	301
Área de Drenagem (km²)	664

Fonte: [http://www.ana.gov.br/\(hidroweb\)](http://www.ana.gov.br/(hidroweb)) com adaptações.

Quadro 11 – Estação R3.

CODIGO	66171500
NOME	FAZENDA RIACHO DOCE
INSTALAÇÃO	09/11/1999
SÉRIE HISTORICA	11/11/1999 a 18/06/2007
CODIGO ADICIONAL	RESOLUÇÃO/396
BACIA	PLATINA
SUB-BACIA	RIO CUIABÁ
RIO	RONCADOR
ESTADO	MATO GROSSO
MUNICIPIO	CHAPADA DOS GUIMARAES
RESPONSAVEL	FURNAS
OPERADORA	FURNAS
LATITUDE	-15:05:30
LONGITUDE	-55:26:29
ALTITUDE(m)	306
ÁREA DE DRENAGEM(Km²)	1394

Quadro 12 – Estação M4.

CÓDIGO	66162000
SÉRIE HISTÓRICA(HIDROWEB)	26/08/1998 A 19/06/2007
INSTALAÇÃO	27/02/1982
NOME	FAZENDA CORRENTE VERDE
CÓDIGO ADICIONAL	RESOLUÇÃO/396
BACIA	PLATINA
SUB-BACIA	RIO CUIABÁ
RIO	MANSO
ESTADO	MATO GROSSO
MUNICIPIO	NOVA BRASILANDIA
RESPONSAVEL	FURNAS
OPERADORA	FURNAS
LATITUDE	-14:48:35,7
LONGITUDE	-55:16:35,2
ALTITUDE (m)	317
ÁREA DE DRENAGEM (Km²)	2602

Fonte: [http://www.ana.gov.br/\(hidroweb\)](http://www.ana.gov.br/(hidroweb)) com adaptações.

TELA DO COMPUTADOR COM APLICAÇÃO DA FERRAMENTA “SOLVER” DA PLANILHA ELETRÔNICA EXCEL NA DEFINIÇÃO DE CURVA-CHAVE DE VAZÃO LÍQUIDA

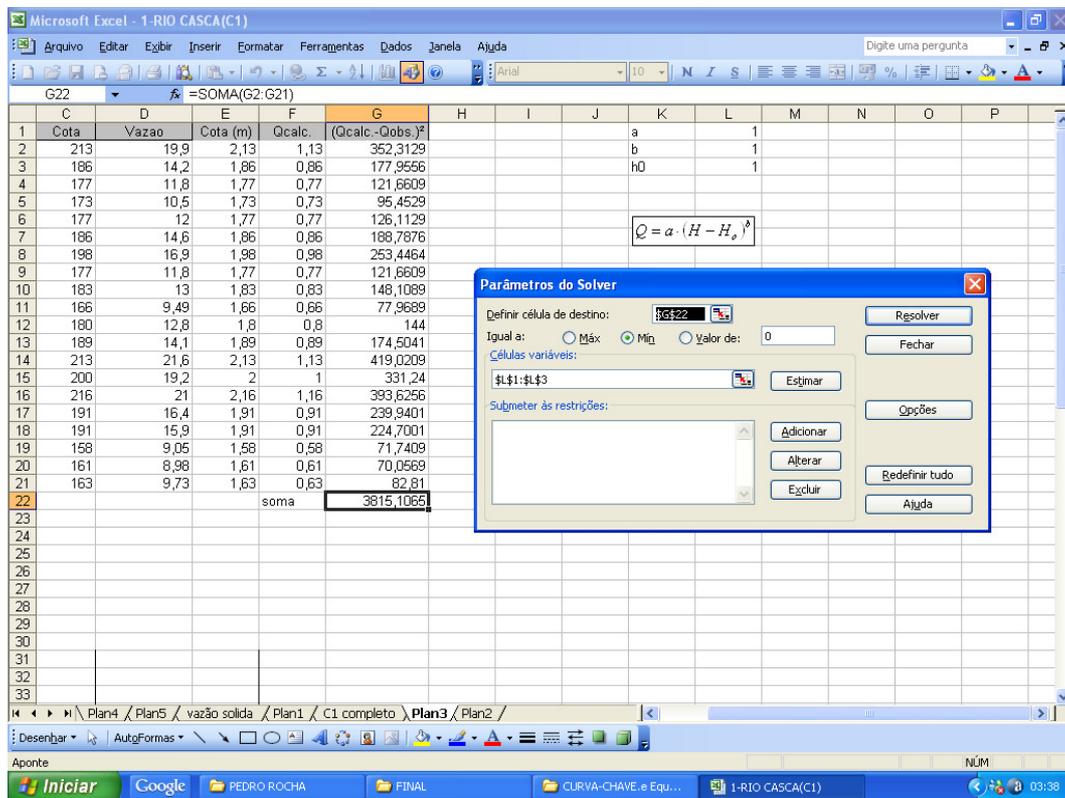


Figura 78 – Tela do computador com aplicação da Ferramenta “Solver” da Planilha eletrônica Excel na Definição de Curva-Chave de Vazão Líquida.

TELA DO COMPUTADOR APRESENTANDO O MÉTODO COLBY-1957 UTILIZANDO O SOFTWARE NO CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA

The screenshot shows a software window titled "Transporte Sólido em Rios" with a sub-tab "Método de Colby - 1957". The interface is divided into two main sections: "Dados" (Data) and "Resultados" (Results).

Dados (Input Data):

Posto/Rio	Data
ESTAÇÃO M4-RIO MANSO	13/03/2009
Vazão (m ³ /s)	Velocidade (m/s)
5,30	1,17
Profundidade(m)	Área (m ²)
2,91	157,74
Largura (m)	Concentração(mg/l)
54,13	198

Resultados (Calculated Results):

Concentração relativa	673,97
D.Sólida não medida [t/dia]	2355,71
D.Sólida medida [t/dia]	90,67
D.Sólida Total [t/dia]	2446,38

At the bottom of the interface, there are five buttons: "Calcular", "Zerar Campos", "Exemplo", "Fechar", and "Info". The Windows taskbar at the bottom shows the "Iniciar" button, search bar, and taskbar with the application name "Transporte Sólido em ...".

Figura 79 – Tela do Computador apresentando o Método Colby-1957 utilizando o Software no Cálculo da Descarga Sólida Total.

CONTROLE DE LEITURA DE RÉGUAS

Leitura de Régua-C1

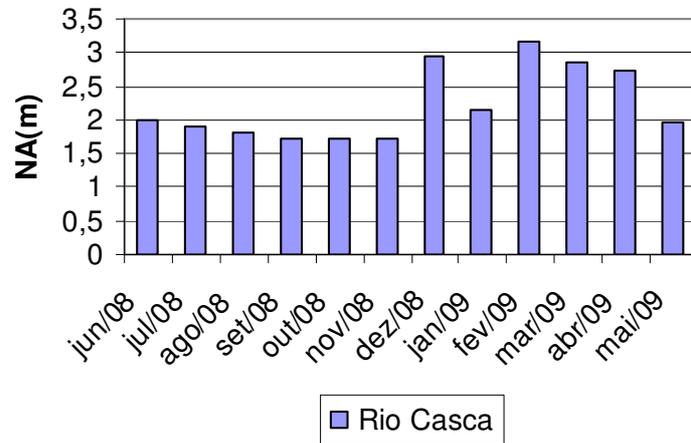


Figura 80 – Controle de Leitura de Réguas na Estação C1.

Leitura de Régua -Q2

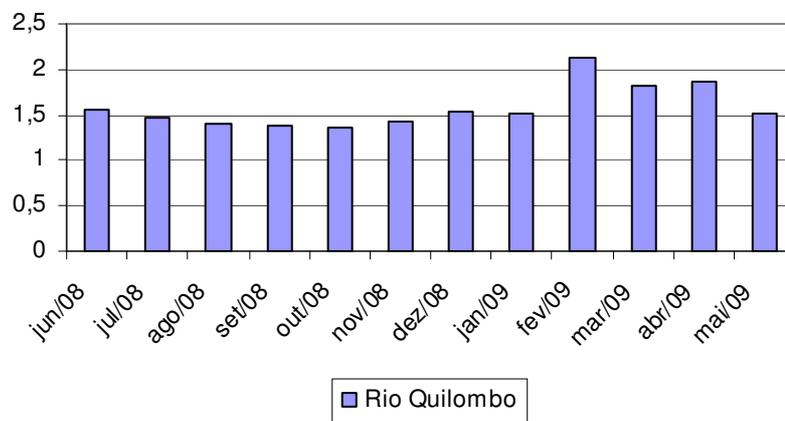


Figura 81 – Controle de Leitura de Réguas na Estação Q2.

Leitura de Regua(m)-M4

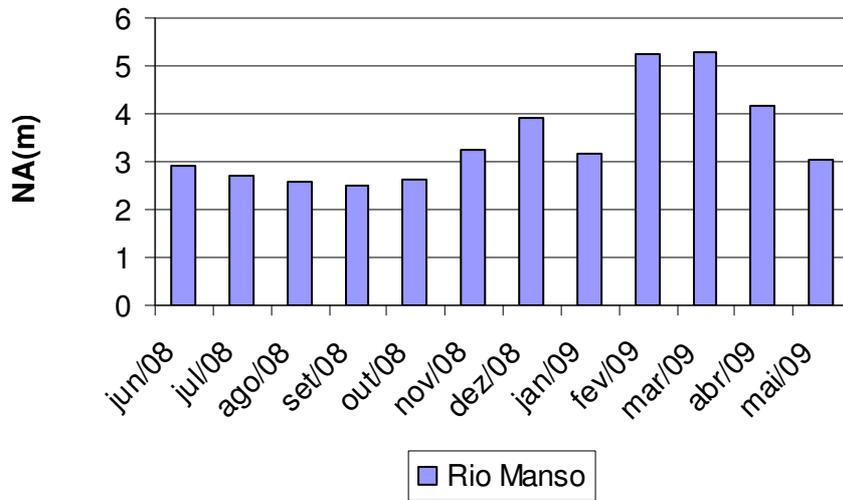


Figura 82 – Controle de Leitura de Régua na Estação M4.

Leitura de Regua-R3

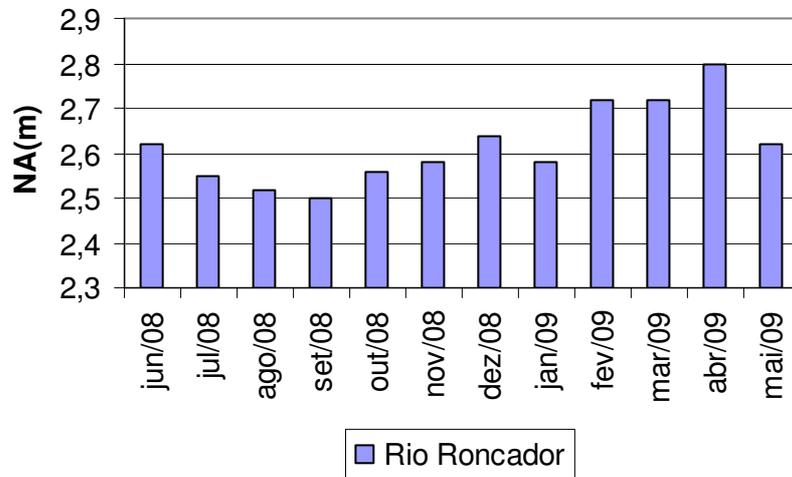


Figura 83 – Controle de Leitura de Régua na Estação R3.

10 ANEXOS

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NO BRASIL EM CADA BACIA
HIDROGRÁFICA. FONTE: (CARVALHO, 2008)

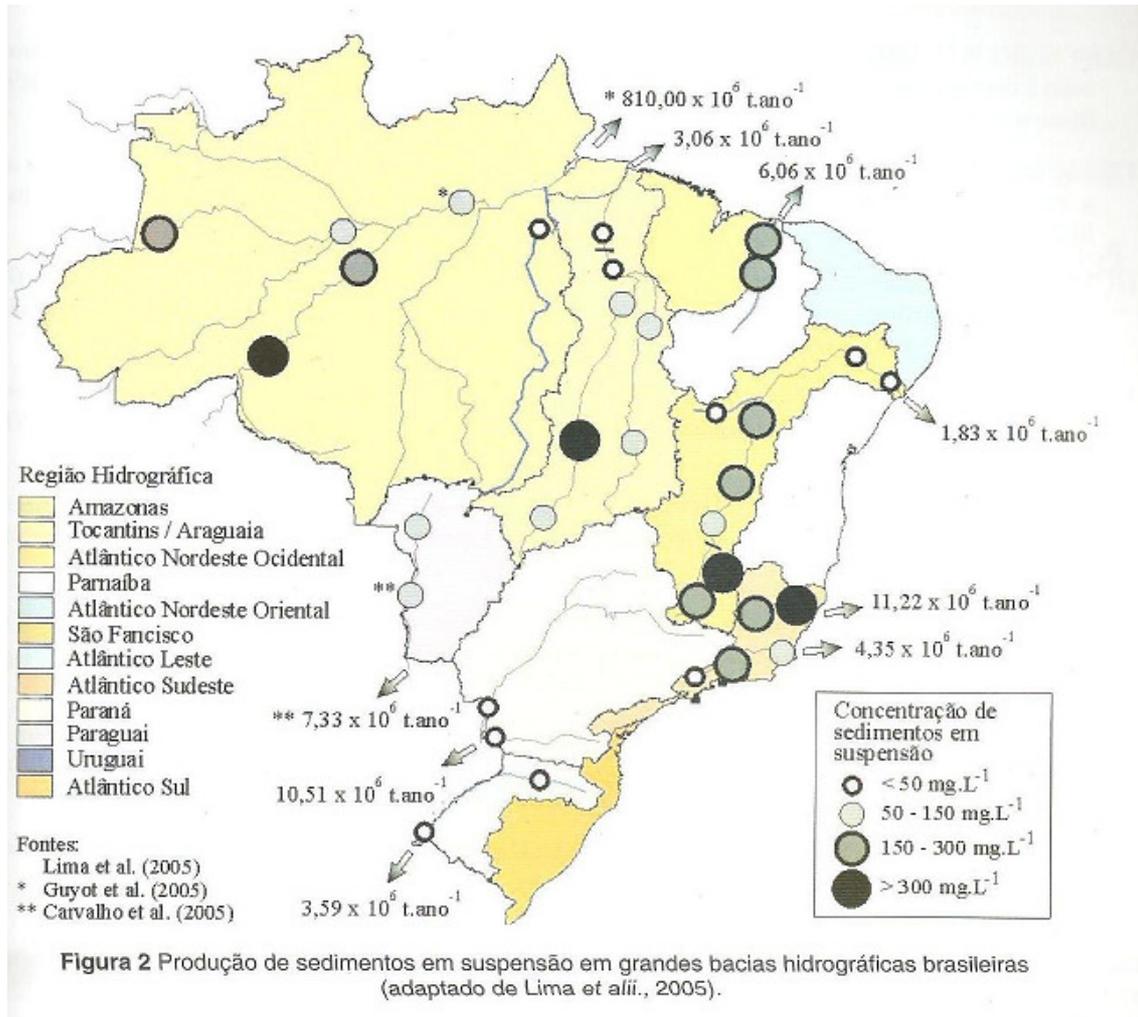


Figura 84 – Produção de sedimentos em suspensão em grandes Bacias Hidrográficas brasileiras (adaptado de Lima *et al.*, 2005). Fonte: CARVALHO, 2008.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)