



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
- Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas -

GUIA DE PRÁTICAS SEDIMENTOMÉTRICAS

*Newton de Oliveira Carvalho
Naziano Pantoja Filizola Júnior
Paulo Marcos Coutinho dos Santos
Jorge Enoch Furquim Werneck Lima*

Brasília, DF – 2000

Ficha catalográfica do material original:

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

Apresentação

Para o Brasil, que possui uma disponibilidade hídrica superficial estimada em 8.160 km³/ano, equivalente a cerca de 18% do total do globo terrestre, o conhecimento quantitativo e qualitativo desse recurso natural de inestimável valor social, econômico e ambiental torna-se fundamental para o desenvolvimento do país.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) gerencia uma rede básica de estações hidrométricas, onde encontram-se em operação 2.290 estações pluviométricas, 1.581 fluviométricas, 415 sedimentométricas e 418 estações de qualidade de águas. A operação das estações hidrométricas, tanto da rede básica como das redes secundárias, é realizada por diferentes empresas ou entidades, o que destaca a importância deste Guia de Práticas Sedimentométricas no sentido de orientar e padronizar as atividades desenvolvidas no campo da sedimentometria, desde os trabalhos de base como a escolha do equipamento a ser utilizado, a coleta das amostras e as análises de laboratório, até o tratamento e armazenamento das informações geradas.

Considerando a relevância do resultado deste trabalho, tanto para o setor elétrico como para outros segmentos, é com satisfação que a Agência Nacional de Águas e Energia Elétrica – ANEEL vem, através desta publicação, disponibilizar o Guia de Práticas Sedimentométricas às pessoas e entidades que tenham interesses e, de alguma forma, estejam envolvidas com trabalhos ou estudos sedimentométricos.

José Mário Miranda Abdo
Diretor Geral / ANEEL

Afonso Henrique M. Santos
Diretor / ANEEL

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas
Superintendente de Estudos e Informações Hidrológicas
SIH/ANEEL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas

Brasília, DF – Setembro/2000

GUIA DE PRÁTICAS SEDIMENTOMÉTRICAS

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. A importância do estudo da Sedimentologia fluvial | 6 |
| 3. Sedimentologia Fluvial e o “Ciclo das Rochas” | 8 |
| 3.1 A carga e a descarga sólida | 10 |
| 4. A Sedimentometria | 11 |
| 4.1 O planejamento da Rede Sedimentométrica | 13 |
| 4.1.1 A definição do tipo de rede e dos locais a serem monitorados | 14 |
| 4.1.2 A instalação dos postos e a frequência amostral | 16 |
| 4.1.3 Métodos de medida | 17 |
| 4.1.4 Técnicas de amostragem e tipos de equipamento | 17 |
| 4.2 A operação da rede sedimentométrica | 21 |
| 4.2.1 Técnicas de amostragem | 22 |
| a) Amostragem do material em suspensão | 22 |
| b) Amostragem de material do leito | 30 |
| c) Medida direta da descarga do leito | 31 |
| d) Amostras em grandes rios | 31 |
| 4.2.2 Definição do material adequado | 31 |
| 4.2.3 A definição do tipo de equipamento no momento da amostragem | 32 |
| a) Equipamentos para amostra em suspensão | 33 |
| b) Equipamentos para amostra do leito | 37 |
| 4.2.4 Calibragem dos equipamentos | 39 |
| 4.2.5 Manutenção dos equipamentos | 40 |
| 4.2.6 Novos equipamentos para sedimentos em suspensão | 41 |
| 4.2.7 Novos equipamentos para sedimentos do leito | 45 |
| 4.2.8 Novos equipamentos de laboratório | 46 |
| 4.2.9 Cuidados com as amostras no campo | 47 |
| 4.3 As análises de laboratório | 49 |
| 4.3.1 Recebimento de amostras e manuseio | 50 |
| 4.3.2 Tipos e métodos de análises | 51 |
| 4.3.3 Volume de amostras necessário para análise | 54 |
| 4.3.4 Limitações nos métodos de análises | 56 |
| 4.3.5 Análises de concentração – filtração e evaporação | 58 |
| a) Método de filtração | 59 |

| | |
|--|-----|
| b) Método de evaporação | 60 |
| 4.3.6 Análises granulométricas de material em suspensão e do leito | 61 |
| a) Método do tubo de retirada pelo fundo | 62 |
| b) Pipetagem | 64 |
| c) Densímetro | 64 |
| d) Tubo de acumulação visual | 65 |
| e) Peneiramento | 67 |
| f) Traçado e uso das curvas granulométricas | 68 |
| 4.4 O Processamento dos dados brutos | 69 |
| 4.4.1 Processamento dos dados e análise de consistência | 69 |
| a) Descarga sólida em suspensão | 71 |
| b) Descarga sólida do leito e do material do leito | 72 |
| c) Descarga do leito em medições diretas | 73 |
| d) Descarga do leito e do material do leito em medições indiretas | 73 |
| e) Descarga sólida total | 79 |
| f) Processamento de dados de observação diária | 80 |
| g) Processamento de dados de observação eventual | 81 |
| h) Análise de erros e de consistência | 82 |
| 4.4.2 Disponibilidade de dados (O caso da Aneel)..... | 85 |
| Referências bibliográficas para consultas | 89 |
| Glossário de termos, unidades e símbolos | 92 |
| Anexo 1 | 97 |
| Anexo 2 | 103 |

1. INTRODUÇÃO

A sedimentometria aqui tratada se refere à medida da quantidade do sedimento transportado pelos cursos d'água. Essa medida é feita por diversos métodos considerados diretos e indiretos, sendo isto uma função do tipo de equipamento de medida e dos demais procedimentos. A carga sólida medida se refere à argila, silte e areia transportada. Apesar de na classificação granulométrica estarem incluídos pedregulho, pedra e matacão, esses materiais não são tratados normalmente nesses estudos.

Existem diversos métodos em sedimentometria, que podem ser classificados como métodos diretos e indiretos. A sedimentometria no nosso país tem sido realizada por amostragem de sedimento, análise no laboratório e cálculos de obtenção da descarga sólida, sendo este procedimento considerado um dos métodos indiretos. Uma das razões da utilização dessa metodologia é o uso dos equipamentos para amostragem de sedimento da série norte-americana, adotados também em muitos outros países, que proporcionam relativa facilidade, alguns da série fabricados no Brasil.

Para conhecimento dos diversos métodos de medida sugere-se consultar o livro *Hidrossedimentologia Prática*, editado pela CPRM e ELETROBRÁS (Carvalho, 1994). No final deste trabalho está incluída uma lista bibliográfica que não foi necessariamente toda utilizada na preparação deste Guia, mas preparada para ajudar o leitor em consultas.

A medição da descarga sólida envolve a medida da descarga líquida, amostragem do sedimento em suspensão, amostragem de material do leito, medida da temperatura da água, medida da declividade do gradiente energético da linha d'água, bem como outras medições quando se quer determinar a descarga em suspensão, a descarga do leito (ou arrasto), a descarga de material do leito e a descarga total.

Os trabalhos de sedimentometria são sempre efetuados no posto fluviométrico, sendo necessário o conhecimento de medidas como o nível d'água, a velocidade da corrente, a descarga líquida e outros.

O presente Guia pretende atingir principalmente os profissionais de campo e de laboratório envolvidos diretamente na operação da rede. Tem também a intenção de orientar como a sedimentometria pode ser realizada, procurando uniformizar a metodologia de trabalho. É somente uma orientação baseada na experiência nacional, uma vez que existem diversas metodologias disponíveis noutros países.

2. A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA SEDIMENTOLOGIA FLUVIAL

Os termos erosão e sedimentação envolvem os processos de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas, o que é usualmente chamado de sedimento. Esses processos têm estado ativos através do tempo geológico (vide item sobre o ciclo das rochas) e têm auxiliado no modelado do relevo do nosso mundo atual. Hoje, a erosão, o transporte e a sedimentação podem causar sérios problemas de engenharia, bem como ambientais.

Atividades humanas introduzem uma profunda influência na erosão. Sob determinadas circunstâncias, as taxas de erosão são 100 vezes maiores, com a interferência humana, do

que seria apenas considerando-se em termos geológicos. A erodibilidade do material natural recebe forte interferência de perturbações na estrutura do solo por tratamento inadequado, seja em práticas agrícolas ou em uso para obras de engenharia. A camada protetora do solo (vegetação) é enfraquecida por fogo, corte, aração, etc. Além de produzir sedimentos de forma prejudicial, a erosão causa sérios prejuízos às terras agricultáveis, reduzindo a fertilidade e produtividade do solo. As condições de escoamento superficial e as características hidráulicas de canais naturais são exacerbadas pelo aumento da área de drenagem e pela alteração das suas feições morfológicas originais, como por exemplo o surgimento de meandros.

Erosão severa pode ocorrer durante a construção de rodovias e auto-estradas, onde a vegetação de proteção é retirada e alterações na declividade natural são realizadas sem as devidas precauções. A erosão local causa sérios problemas e o "efeito-de-lavagem" dessas áreas erodidas se faz sentir a dezenas e até centenas de quilômetros a jusante da origem do problema.

Nos Estados Unidos, 85% das 571.000 pontes e viadutos foram construídos sobre cursos d'água. O fenômeno de escorrimento da massa de lama de sedimentos resultantes da lavagem de terrenos por grandes cheias é citada por Julien (1998), como a causa da maioria dos problemas ocorridos com pontes durante eventos hidrológicos críticos.

Operações de minas também podem introduzir grande volume de sedimentos no meio natural. Áreas de lavra a céu aberto ou de rejeito favorecem a ação erosiva das chuvas por muitos anos, mesmo após a exploração da mina ter cessado. Causam problema de instabilidade nos canais naturais, gerando dificuldades, em alguns casos, para a navegação, além de introduzir fatores que tornam ainda mais complexas as respostas do sistema fluvial.

O trabalho de controle exercido por rios e canais fluviais naturais tem grande influência no processo de erosão. O estreitamento de canais, aumentando a declividade da linha d'água e a velocidade de fluxo, favorece o início da erosão do canal. Algumas vezes, essa erosão pode vir a ser benéfica, reestruturando a morfologia do canal, e também aumentando a sua capacidade de fluxo. Retrabalhamento de material erodido em trechos de jusante também pode ser fator para iniciar outro ciclo de erosão numa bacia. Um exemplo disso é o caso das fontes de sedimentos para os Rios Purus e Juruá no Estado do Amazonas. Os sedimentos erodidos dos Andes depositados em região ainda de relevo relativamente elevado são a principal fonte de sedimentos para aqueles rios.

O transporte de sedimentos afeta a qualidade da água e a possibilidade para o consumo humano ou seu uso para outras finalidades. Numerosos processos industriais não toleram mesmo pequenas porções de sedimentos em suspensão na água. Esse fato envolve muitas vezes enormes gastos públicos para a solução do problema.

A construção de barragens tem influência na estabilidade do canal natural. Essa influência se dá principalmente de duas maneiras:

- 1) Retendo o sedimento afluyente; e
- 2) Modificando o fluxo natural e o carreamento dos sedimentos para jusante.

Como um resultado disseminado, a degradação ocorre a jusante da barragem e a retenção dos sedimentos na mesma pode favorecer o risco de cheias. Não existem cálculos para o Brasil, mas nos Estados Unidos a perda de capacidade dos reservatórios causada pelo acúmulo de sedimento gera prejuízos da ordem de US\$100 milhões (Julien, 1998). Problemas com abrasão das turbinas, dragagem de material, instabilidade no fluxo e possíveis falhas mecânicas são passíveis de associação entre os reservatórios e a construção de barragens. Outros problemas, como a diminuição do sedimento para a manutenção de praias fluviais e mesmo no litoral, já fazem parte da literatura, atribuindo às barragens as causas por tais efeitos.

Os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros agentes poluidores. O sedimento sozinho degrada a qualidade da água para consumo humano, para recreação, para o consumo industrial, infra-estruturas hidroelétricas e vida aquática. Adicionalmente, produtos químicos e lixo são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento. Trocas iônicas podem ocorrer entre o soluto e o sedimento. Dessa forma as partículas de sedimento agem como um potencializador dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos decorrentes do lixo, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, vírus, etc.

Os problemas causados pela deposição de sedimentos são vários. No entanto, o sedimento é vital no que tange à conservação, desenvolvimento e utilização do solo e dos recursos hídricos. Com a rápida expansão da população, com a conseqüente demanda por infra-estrutura, alimento e produtos derivados do solo e da água, a simples exploração deve ser repensada. O gerenciamento integrado do sistema solo + água deve ser enfatizado. No caso brasileiro, e mais especificamente do setor elétrico, com mais de 90% da energia elétrica de fonte hidráulica, é preciso planejar e trabalhar a questão em parceria com os demais usuários da bacia hidrográfica de contribuição aos reservatórios das centrais hidroelétricas.

3. SEDIMENTOLOGIA FLUVIAL E O “CICLO DAS ROCHAS”

Os sedimentos em suspensão são parte de um processo que é impossível de ser acompanhado em sua plenitude à escala de uma vida humana. Tal processo é denominado de ciclo das rochas, e pode ser exemplificado da seguinte maneira:

Imaginemos que a uns 15 ou 20 km abaixo da superfície terrestre exista uma “câmara magmática”¹ e que esta contenha um magma granítico, por exemplo. Ou seja, um magma cuja composição contenha todos os ingredientes, como silício, oxigênio, sódio, alumínio, etc., para formar, por resfriamento, minerais que comporão um granito (uma ROCHA ÍGNEA).

Com a perda gradativa de calor do material da «câmara magmática» os cristais se formam, se agregam e dão origem a um granito. Para que esse granito fique exposto na superfície terrestre, é preciso que haja a EROSÃO de muitos quilômetros de rochas que se acham sobre ele e, para isso, serão necessários alguns milhões de anos. Quando o granito

¹ Acumulação, formada na litosfera, fechada e restrita de magma - material em estado de fusão que, por consolidação, dá origem às rochas ígneas.

atinge a superfície, encontra um ambiente bastante diferente daquele no qual foi formado. Encontra oxigênio livre, gás carbônico, água, etc., e pressões e temperaturas muito inferiores àquelas existentes no seu ambiente de formação. Quando as rochas ficam descobertas e expostas à atmosfera e à hidrosfera, precisam adaptar-se ao novo ambiente. As adaptações (químicas e físicas) que ocorrem são chamadas de INTEMPERISMO.

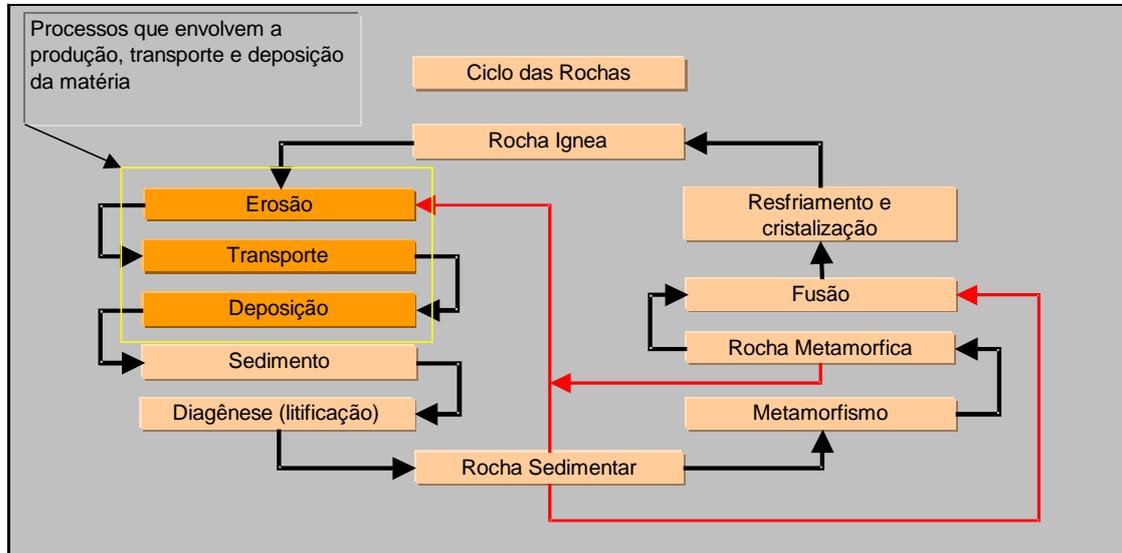


Figura 3.1 - O ciclo das rochas. Setas em preto indicam o caminho mais longo do ciclo e as vermelhas indicam outros possíveis caminhos. Fonte: www.mineriobr.com.br

As variações de temperatura e a dilatação da água quando se congela nas fendas das rochas são exemplos de ação de um processo de intemperismo físico (atuam, nesse caso fenômenos físicos). Tem-se, no intemperismo físico, rompimento de grandes rochas em blocos menores que se expõem cada vez mais à ação da água e do ar. Esses agentes vagarosamente decompõem a rocha pelo ataque químico dos seus minerais. Esse é o intemperismo químico. Nos processos químicos de intemperismo certos minerais são mais facilmente «atacáveis» que outros.

A destruição dos minerais intemperizáveis deixa buracos e fendas na rocha, podendo liberar fragmentos dela, bem como minerais do tipo do quartzo, por exemplo, que é mais resistente ao ataque intempérico. O produto da decomposição das rochas resulta em materiais pouco consistentes, que são os SOLOS.

Consideremos que parte das partículas provenientes da decomposição de uma rocha bem como da porção dissolvida sejam arrastados pelas águas das chuvas e dos rios aos oceanos². Nesse caso, os sedimentos poderão ser gradualmente depositados por certo tempo em bacias hidrográficas e por um prazo relativamente maior em bacias oceânicas próximas à costa. A contínua sedimentação pode levar ao afundamento dessas bacias. Uma bacia oceânica rasa que está sofrendo afundamento constante e contínua sedimentação é chamada de GEOSINCLINAL.

² Esta é a parte do processo que é o objeto de análise da sedimentometria fluvial, processo esse tratado neste Guia.

À medida que o geossinclinal afunda, o ambiente que contém sedimentos se modifica. A pressão, por causa da contínua carga de sedimentos, é aumentada e a temperatura se eleva devido ao GRAU GEOTÉRMICO (profundidade, na crosta terrestre, em metros, necessária para haver o aumento de temperatura de 1°C). Os sedimentos, areia e lama, dessa forma, perdem água; são compactados, cimentados e transformam-se em rocha sedimentar; por exemplo, um arenito.

A soma dos processos de transformação de sedimentos em rocha sedimentar é a DIAGÊNESE (conjunto das modificações físicas e químicas sofridas pelos sedimentos desde sua deposição até sua transformação em ROCHA SEDIMENTAR). À medida que o geossinclinal continua a afundar, gradualmente, devido, principalmente, às ações de fatores como pressão e temperatura, inicia-se o processo METAMÓRFICO.

Pelo aumento da pressão e temperatura a rocha sedimentar pode transformar-se em ROCHA METAMÓRFICA. Se o afundamento continuar, a rocha pode, finalmente, atingir um ambiente de FUSÃO (dissolução por ação de altas temperaturas e pressões) e transformar-se em magma novamente. Esse magma pode iniciar o processo de ascensão à superfície, pela diminuição da temperatura solidificar-se (RESFRIAMENTO E CRISTALIZAÇÃO), formando uma nova rocha ígnea. Essa nova rocha pode atingir a superfície, sofrer intemperismo e reiniciar todo o ciclo.

3.1 A carga sólida e a descarga sólida

O sedimento presente no curso d'água é originado da erosão na bacia e da erosão no próprio leito e nas margens. Em ocasiões de chuvas as enxurradas transportam muitas partículas para o rio onde esse sedimento se move em suspensão ou no leito, rolando, deslizando ou em saltos. Dependendo da velocidade da corrente e do efeito de turbulência, partículas do leito podem entrar no meio líquido e ficar em suspensão e aí permanecer até que voltem a se mover no leito quando as forças atuantes se reduzirem. As partículas se movem no leito também sob a ação da corrente, mas cada uma está sujeita à resistência de atrito, o que resulta em menor velocidade de movimento do que aquelas que estão em suspensão.

O termo *carga sólida* se refere ao fenômeno qualitativo do movimento, podendo ser em suspensão, de arrasto, em contato e saltante. O termo *descarga sólida* se refere à quantidade em movimento.

Mede-se separadamente a descarga em suspensão da descarga do leito porque as partículas desta estão sujeitas a forças de resistência ao seu movimento enquanto aquelas estão livres no meio líquido.

Em suspensão no meio líquido encontram-se em maior quantidade partículas finas, como argilas e siltes, e pequena quantidade de material grosso, como areias. Em regime de grandes velocidades e turbulência a quantidade de areia em suspensão pode aumentar. O movimento de partículas em suspensão é considerado igual à velocidade da corrente.

Na carga sólida do leito encontra-se o material grosso, como areias e pedregulhos. Em regime de baixas velocidades as partículas mais grossas, como pedregulho, deixam de se mover, aumentando a quantidade de material de areias em movimento. Sedimento grosso do leito incorporado à carga fina em suspensão é considerado *carga de material do leito*.

4. A SEDIMENTOMETRIA

O Brasil possui uma das maiores redes fluviais do mundo, de grande importância no desenvolvimento do país no que diz respeito ao abastecimento d'água, geração de energia hidráulica, navegação, irrigação, etc. A utilização desses recursos hídricos exige o conhecimento do regime fluvial, o que é feito através da rede fluviométrica e estudos subsequentes.

A operação e manutenção dessa rede inclui a obtenção de níveis d'água, descarga líquida, descarga sólida e parâmetros de qualidade d'água. Isso é feito de forma contínua com registradores ou operação diária por observadores locais e periodicamente pelas equipes de hidrometria. Tal operação é de fundamental importância no uso dos recursos hídricos, pois daí derivam os mais diversos estudos. Cada dado obtido vai ser utilizado diversas vezes por várias entidades (públicas ou privadas), seja no planejamento e na operação do sistema da própria rede, ou para estudos visando geração de energia, abastecimento d'água, irrigação, navegação, controle de cheias ou qualquer outro uso do recurso hídrico.

Assim, a obtenção correta dos dados é de fundamental importância. A simples leitura de uma régua, a medida da descarga líquida e todos os outros dados devem ser obtidos de forma criteriosa, honesta, utilizando a melhor técnica e conhecimento disponíveis no momento. O instante da medida é de suma relevância, pois um erro cometido é de difícil ou mesmo de impossível correção, inutilizando o esforço do momento e trazendo prejuízos.

A rede fluviométrica básica ou primária do Brasil, sob a responsabilidade da Aneel, contava, em abril de 2000, com 1.581 postos fluviométricos, dos quais 415 com medidas da descarga sólida em suspensão. Outras entidades têm operado a rede secundária, tendo sido alguns dos postos incorporados à rede básica.

Devido a questões de ordem operacional e financeira, no que diz respeito à rede sedimentométrica primária, a operação está restrita à obtenção da descarga em suspensão numa quantidade de postos menor do que o desejável. A frequência de medidas também tem sido inferior à desejável para o bom conhecimento do meio natural. Espera-se que no futuro essa rede possa ser ampliada, ser incluída a medida da descarga do leito e aumentada a frequência de operação. Esforços estão sendo despendidos para que haja avanços nesse sentido, e também quanto à utilização de equipamentos modernos e apropriados, tanto no campo quanto no laboratório.

O conhecimento da descarga sólida é necessário para análises de degradação de uma bacia, verificação da qualidade d'água para abastecimento, estudos de assoreamento de rios e reservatórios, estudos de assoreamento na posição de obras fluviais, bem como para diversas outras pesquisas ambientais e de engenharia. É comum os serviços das entidades só darem importância às medições de descarga em suspensão pela facilidade e menor custo de obtenção, e também pela maior quantidade no curso d'água, ficando o conhecimento da descarga do leito por conta de um fator que nem sempre corresponde à aproximação desejável.

Em pequenos reservatórios hidrelétricos, por exemplo, há velocidade de corrente suficiente para que o sedimento em suspensão seja escoado com facilidade, não se depositando. No entanto, o sedimento grosso, como areias e também pedregulhos, é transportado no leito, não sendo escoado pelos condutos e vertedouro, contribuindo diretamente para o depósito no lago. É, então, fundamental que seja também conhecida a descarga do leito e a granulometria do material. Na realidade, para se conhecer suficientemente o regime da carga sólida do rio é necessário medir a descarga em suspensão e a do leito.

A sedimentometria no Brasil tem sido realizada por redes de amostragem, coleta de amostras de água e sedimento, análise em laboratório e cálculos para obtenção da descarga sólida, sendo este processo considerado como um dos métodos indiretos (vide figura 4.1). Uma das razões por que tem sido utilizada essa metodologia é o uso dos equipamentos da série norte-americana para amostragem de sedimento, que foram difundidos no Brasil através de diversos trabalhos de hidrólogos do USGS. Esses equipamentos são utilizados com relativa facilidade, sendo alguns já fabricados no Brasil.

Os trabalhos de sedimentometria são sempre efetuados no posto fluviométrico, e é necessário o conhecimento de outras medidas, como o nível d'água, a velocidade da corrente, a descarga líquida e outros. A medição da descarga sólida envolve a medida da descarga líquida, amostragem do sedimento em suspensão, amostragem de material do leito, medida da temperatura da água, medida da declividade do gradiente energético da linha d'água, bem como outras medições quando se quer determinar a descarga em suspensão, a descarga do leito (ou arrasto), a descarga de material do leito e a descarga total.

Conforme dito anteriormente os trabalhos de sedimentometria constituem-se num processo. Ao se analisar o processo como um todo e de acordo com a nova metodologia organizacional, é possível tratar o tema conforme indicado no macrodiagrama abaixo. Neste diagrama encontram-se destacadas as várias etapas do processo de medição sedimentométrica, desde os fornecedores de informações básicas e/ou de referência até clientes finais, passando pelos produtos e subprodutos, além, é claro, dos subprocessos, que são as grandes etapas do trabalho.

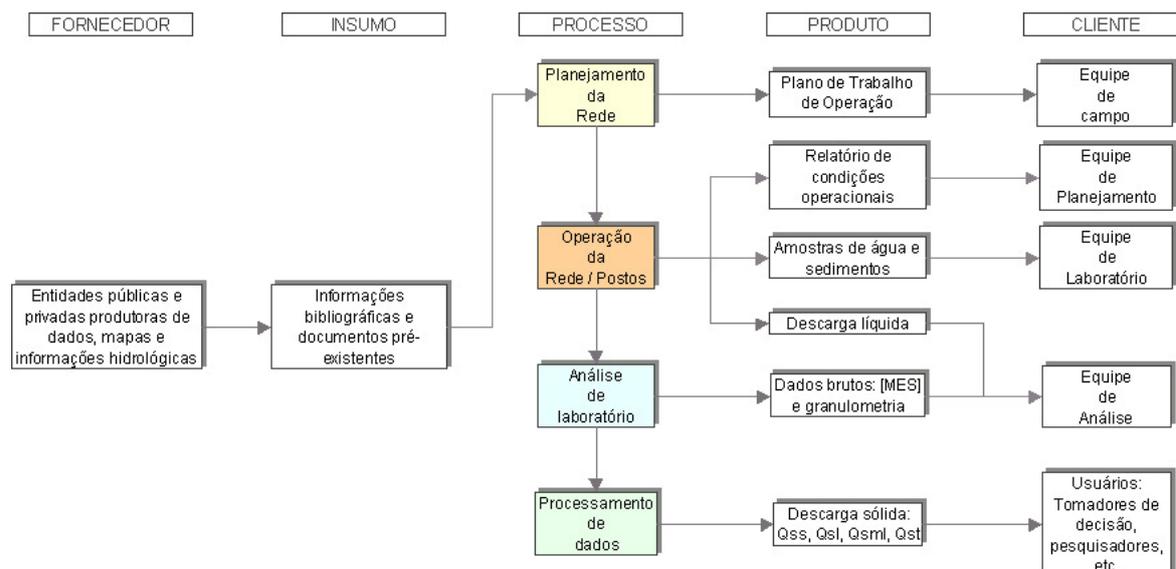


Figura 4.1. Macrodiagrama do processo de obtenção de dados sedimentométricos.

Portanto, os trabalhos para a obtenção dos valores finais das descargas sólidas envolvem 4 etapas, que podem ser descritas como segue:

4.1 O Planejamento da Rede Sedimentométrica

Nessa etapa são definidos os objetivos da rede, feitos contatos com entidades que porventura já operem na região objeto do estudo, levantamento de dados e demais informações preexistentes. São também definidos o tipo de rede que se deseja (monitoramento de longo termo ou para um estudo específico e de curta duração), determina-se qual a frequência de operação dos postos (número de amostragens a serem realizadas por ano, bem como a dinâmica em relação ao ciclo hidrológico) e as metodologias a serem adotadas quanto ao modo de amostragem a ser executado e tipos de equipamentos a serem utilizados. Além dos modos de processamento das amostras em laboratório que serão adotados no processo, quantos e quais postos serão operados e por quem, ou seja, os roteiros e as equipes de operação. Como produto dessa etapa, deve ser gerado pela equipe de planejamento um plano de trabalho documentando todas as fases ou atividades do processo de forma a instruir as equipes das etapas seguintes.

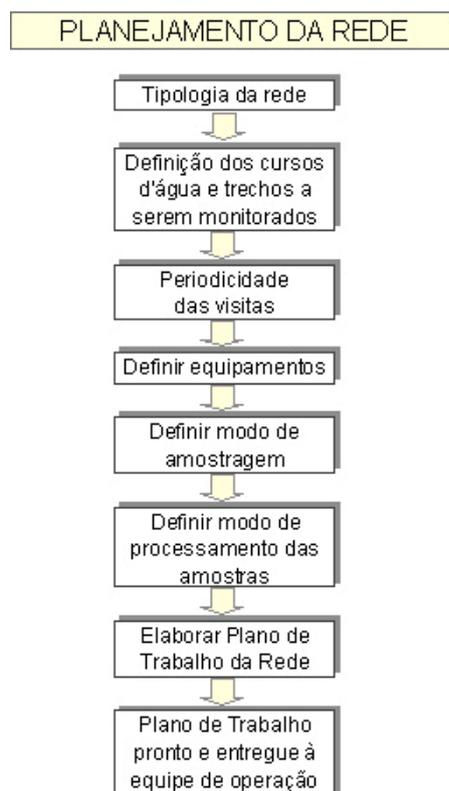


Figura 4.2. Etapas do planejamento

4.1.1 A definição do tipo de rede e dos locais a serem monitorados

O planejamento da quantidade de postos sedimentométricos, adequadamente distribuídos numa bacia hidrográfica e a sua respectiva operação dependerá dos fins a que se destina a rede. Normalmente podem ser instalados postos que compõem uma rede principal ou uma rede secundária.

A **rede primária**, ou **básica**, é formada por um mínimo de postos que são operados por uma entidade que se encarrega de rede hidrométrica nacional e /ou estadual cuja operação é destinada a diversas finalidades de uso dos recursos hídricos de longo prazo.

A **rede secundária** se destina a fins específicos e é limitada a uma bacia hidrográfica ou a uma área de drenagem. Esse é o caso de postos destinados ao estudo do assoreamento de um reservatório.

Postos sedimentométricos podem ser planejados para medida da descarga sólida total para o oceano ou para medida do transporte de sedimento no curso d'água que resulte em valores que permitam estudos de erosão e de depósito de sedimento em rios e reservatórios. Uma rede ótima deve conter postos próximos à foz de cada rio importante que escoe para o oceano (WMO, 1994). Numa determinada bacia os postos deverão ser instalados nos cursos d'água que apresentam maior transporte de sedimento. Um rio de grande porte certamente terá vários postos adequadamente distribuídos ao longo do seu curso. Se somente um posto tiver que ser instalado em um determinado rio, então essa instalação poderá ser feita no início do médio curso.

Postos devem ser instalados especialmente em bacias ou regiões sujeitas a fortes erosões ou mesmo a precipitações intensas. Uma maior densidade de postos também pode contemplar uma bacia onde se tenha grandes interesses de aproveitamento de seus recursos hídricos. Procura-se instalar novos postos onde já existam postos fluviométricos em operação, o que permite, também, a utilização dos dados hidrométricos históricos ali existentes.

A densidade de postos na rede sedimentométrica principal desejável de uma bacia hidrográfica ou região está apresentada na Tabela 4.1 (WMO, 1994). Deve ser lembrado que a obtenção de dados sedimentométricos é tarefa expressiva, devendo o planejamento dar ênfase à operação dos postos em áreas onde a erosão é severa. Como exemplo, pode-se citar o critério chinês que realiza medições regulares da descarga sólida em todos os postos fluviométricos cuja concentração excede 500mg/l (Yuqian, 1989).

Tabela 4.1 – Densidade mínima recomendada para o estabelecimento de rede de postos sedimentométricos (WMO, 1994).

| Unidade fisiográfica | Densidade mínima por posto (área em km² por posto) |
|-----------------------------|--|
| Região costeira | 18.300 |
| Região montanhosa | 6.700 |
| Interior plana | 12.500 |
| Ondulada | 12.500 |
| Pequenas ilhas | 2.000 |
| Polar ou árida | 200.000 |

A rede sugerida pela OMM é proposta para obtenção de dados da descarga sólida total. No entanto, devido aos custos envolvidos e também pelo fato de a descarga em suspensão ser predominante, geralmente os serviços das entidades só contemplam a medição do sedimento em suspensão. A falta do conhecimento da descarga do leito passa a prejudicar muitos estudos sedimentológicos.

Uma das alternativas é contemplar programas especiais, com duração de um certo período, em algumas bacias problemáticas efetuando medições da descarga sólida total, com a inclusão do conhecimento adequado das concentrações, das características do sedimento, da descarga em suspensão e do leito. Outra alternativa é escolher parte da rede para monitorar também o sedimento do leito.

Dados de transporte de sedimento podem ser complementados pelo levantamento batimétrico em lagos e reservatórios, embora informações obtidas dessa forma não possam substituir completamente as medidas em postos nos cursos d'água (WMO, 1994).

A **rede sedimentométrica secundária** deve atender a um fim específico. Postos dessa rede podem também pertencer à rede principal ou depois ser incorporados a esta. Normalmente são operados para medição da descarga sólida total, contemplando medidas precisas de concentração, características de sedimento em suspensão e do leito, como a granulometria, descarga em suspensão e descarga do leito.

Para trechos de rios importantes ou reservatórios, deverão ser monitorados, pelo menos, 80% da área de drenagem compreendida (Yuqian, 1989). Para estudos de reservatórios já em operação é necessário a instalação de um posto logo a jusante da barragem para medida do sedimento efluente. Para monitoramento regular um mínimo de 60% da área de drenagem deve conter postos de medida da descarga total. Tributários importantes que tenham mais que 10% da descarga total deverão também ter postos sedimentométricos. Um curso d'água com vazão significativa, cuja contribuição fica próxima à barragem ou perto da tomada d' água, também deve ter posto de medida.

Em estudos de assoreamento de reservatórios é muito importante a determinação da descarga sólida total com definição das características do sedimento. Para que seja fixado o peso específico aparente dos depósitos é necessário o conhecimento das porcentagens médias afluentes das granulometrias dos sedimentos em suspensão e do leito.

4.1.2 A instalação dos postos e a frequência amostral

Essa instalação é a de um posto fluviométrico, que pode ser chamado de “fluvisedimentométrico”, devendo constar de lances de réguas e linígrafo (opcional), referências de nível, seção de medição e controle. A medição do sedimento é feita na seção transversal de medição da vazão.

Escolhe-se um trecho reto do rio, com margens altas e declividades moderadas, leito firme e uniforme, onde os filetes sejam paralelos às margens, devendo a calha conter toda a variação de vazão, sem transbordamentos. Havendo uma uniformidade no escoamento e na distribuição de velocidades na seção transversal, haverá boas condições de amostragem do sedimento.

O acesso ao local do posto deve ser permanente para não haver interrupção na operação. A existência de morador no local ou próximo é muito importante para mantê-lo como observador e guardião do posto.

Não se deve instalar postos muito próximos à foz do curso d'água ou do oceano, em áreas sujeitas a remanso ou influência de maré. Também não se deve instalar posto sedimentométrico logo a jusante de afluente de vazão significativa, porque a carga sólida deste influenciará a distribuição de sedimentos na seção.

O local da régua e do linígrafo deve se situar a montante da seção de controle, em posição de águas tranquilas, o mais próximo possível da seção de medição, sem que haja afluente ou derivação de água entre eles.

A seção de medição deve ficar o mais próximo possível das réguas, sem contribuição significativa de vazão. Essa seção deverá ter distribuição vertical de velocidades de tal forma que a sua variação seja logarítmica e que a distribuição vertical de concentrações de sedimento seja exponencial.

A seção de controle é uma posição no curso d'água em que há mudança do regime do rio, passando por regime crítico. Isso acontece em cachoeiras e corredeiras, que são ótimos controles, garantindo a relação biunívoca $Q = f(h)$. Na falta desses acidentes procura-se um estreitamento do rio ou ponte que estrangule um pouco o escoamento.

A frequência de amostragem ou de medida depende das características de escoamento da bacia. Para muitos cursos d'água a quantidade da carga sólida durante o período chuvoso representa uma média de 70 a 90% de todo o ano hidrológico. Então o sedimento em suspensão deve ser medido com maior frequência nestes períodos úmidos do que durante os períodos secos. Durante enchentes, para determinados cursos d'água, podem ser necessárias medições da carga em suspensão com frequência horária ou mesmo maior número de amostragens para definir com precisão a concentração de sedimento. No restante do ano as amostragens podem ser feitas diariamente ou mesmo semanalmente. Para bacias hidrográficas com grande variedade de solos e condições geológicas e uma irregular distribuição de chuvas, a concentração de sedimentos no curso d'água depende não somente das ocorrências de enchentes no ano mas também das fontes de escoamento na bacia. Em tais condições nenhum programa consistente pode ser realizado sem que amostragens ou medições da concentração de sedimentos sejam adequadamente distribuídas em tais períodos para verificação dessa variação transitória (Yuqian, 1989).

Resulta que a frequência de medições de sedimento depende da precisão necessária dos dados a serem obtidos para os estudos a serem realizados. Quanto maior for a precisão desejada e mais complexo o sistema de escoamento e condições da bacia, maior deve ser a frequência das medidas (Yuqian, 1989).

Conclui-se que, para um determinado posto ou para uma rede sedimentométrica, pode haver frequência desde medições contínuas ou quase contínuas, horárias, diárias, semanais, mensais ou eventuais.

Como já discutido, mesmo as medições eventuais devem contemplar o período chuvoso, principalmente os três primeiros meses desse período, porque a bacia deverá sofrer grande erosão com as primeiras chuvas por estar o solo pobre de cobertura vegetal. Convém, outrossim, que medições contemplem mais a ascensão da vazão do rio quando é presenciada maior quantidade de transporte sólido.

As medições contínuas são realizadas com o uso de equipamentos registradores, enquanto que quase contínuas ou horárias podem ser realizadas com equipamento de bombeamento em bandejas rotativas. As amostragens diárias ou semanais podem ser feitas pelo observador, enquanto que as eventuais podem ser efetuadas pelas equipes de hidrometria.

4.1.3 Métodos de medida

Os diversos métodos de medição da descarga em suspensão, do leito ou total, são classificados em *diretos* (ou *in situ*) e *indiretos*. A tabela 4.2 mostra simplificada esses métodos.

Certamente que muitos outros equipamentos existentes para medida do transporte de sedimento têm sido utilizados com sucesso em muitos países. O avanço tecnológico tem permitido o projeto de novos equipamentos tanto para medidas diretas quanto indiretas. Os equipamentos citados nas tabelas foram desenvolvidos para atendimento a diversas condições de trabalho no campo, tanto a variações de concentrações quanto de granulometria do material.

Tabela 4.2 – Métodos de medição da carga sólida (ver Carvalho, 1994).

| 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) |
| | | Por acumulação do sedimento num medidor (proveta graduada) | Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta) |
| | Indireta | Coleta de sedimento por amostragem da mistura água-sedimento, análise de concentração e granulometria e cálculos posteriores da descarga sólida | 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) |
| | | 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 |
| 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 Muhlofer, Ehrenberger, da Autoridade Suíça e outros 2) Bandeja ou tanque – medidores Losiebsky, Polyakov, SRIH e outros 3) Diferença de pressão – medidores Helly-Smith, Arnhem, 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 equipamento: 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 |
| | | 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 |
| | | | |

| | | | |
|-----------------------|----------|---|---|
| | | Propriedades litológicas – uso das características mineralógicas dos sedimentos | Coleta do sedimento do leito de afluentes e do curso principal, determinação das características mineralógicas dos sedimentos e comparação por uso de equações adequadas a partir das quantidades dos componentes existentes nas amostras |
| | | Método acústico – utilizado para pedras que se chocam no medidor | (pouco eficiente) |
| | | 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 |
| Descarga sólida total | 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 topo-batimétrico 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 |
| | 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) |

Os diversos equipamentos de medida ou de amostragem em suspensão podem ser classificados em vários tipos, como sejam:

- *Instantâneos* ou *integradores*; os *instantâneos* aprisionam a amostra rapidamente ou fazem a leitura, enquanto que os *integradores* admitem a amostra em alguns segundos por bocal ou bico, armazenando num recipiente;
- *Portáteis* ou *fixos*; os *portáteis* são operados manualmente, por haste ou guincho, ou mesmo presos a um barco, enquanto que os *fixos* são instalados numa estrutura própria, numa ponte ou na margem;
- *De bocal* ou *com bico*; os *de bocal* são aqueles de bombeamento ou outros, enquanto aqueles que usam *bicos* são os portáteis, providos de garrafas, recipiente plástico ou saca plástica;
- *Instantâneos pontuais*, *pontuais por integração* e *por integração na vertical*; os *instantâneos pontuais* são do tipo de cilindro com dispositivo que aprisiona a amostra com envio de mensageiro/peso que aciona as válvulas. Os *pontuais por integração* coletam a amostra em alguns segundos em um ponto de uma vertical. Os *integradores na vertical*, ou *em profundidade*, coletam a amostra movendo o equipamento ao longo da vertical em um movimento constante que pode ser em um só sentido ou numa viagem de ida e volta da superfície ao fundo.
- *Amostrador de tubo horizontal*, *de garrafa*, *de saca compressível*, *de bombeamento*, *de integração*, *fotoelétrico*, *nuclear*, *ultra-sônico ótico*, *ultra-sônico de dispersão*, *ultra-sônico Doppler* – o amostrador horizontal é o tipo instantâneo pontual. O amostrador de garrafa é construído em forma hidrodinâmica com uma cavidade para que seja

colocada a garrafa, sendo que a amostragem é feita através de um bico intercambiável com outros de diâmetros variáveis (1/4", 3/16" e 1/8") enquanto o ar é expelido por um tubo. O amostrador de saca compressível é também construído em forma hidrodinâmica, e tem um recipiente de alumínio para conter a saca plástica com capacidade maior que a garrafa, que é colocada comprimida para expulsar o ar; utiliza também os bicos intercambiáveis. O equipamento de bombeamento pode ser colocado em um barco ou instalado na margem, e que normalmente utiliza uma mangueira provida de um bocal ou bico apropriado para admitir a amostra; o bombeamento é controlado em função da velocidade da corrente, existindo diversos tipos desse equipamento. O equipamento que trabalha por integração é o tipo de garrafa ou de saca compressível. O fotoelétrico e o nuclear operam com emissão de luz ou emissão de raios a partir de fonte de intensidade constante. O ultra-sônico ótico e o de dispersão trabalham com fontes que emitem raios ultra-sônicos que são captados por equipamentos apropriados, enquanto que o ultra-sônico Doppler utiliza o efeito Doppler de retorno de incidência nas partículas para registrar a concentração, que é medida em decibéis; trata-se do ADCP.

- Os equipamentos também podem ser classificados pela orientação de seus bicos ou bocais como *na direção da corrente* ou *em 90° com a corrente*.

Nota - Os equipamentos de coleta de material em suspensão da série norte-americana têm denominações que indicam a procedência: US, de *United States*; o tipo de uso: D, de *depth*, para integração vertical ou em profundidade; P, de *punctual*, para amostragem pontual, sendo que os equipamentos leves de uso manual são indicados por H, de *hand*; o número corresponde ao ano de projeto, 48 de 1948.

4.1.4 Técnicas de amostragem e tipos de equipamento

Apesar de serem tópicos mais detalhados na fase de operação, convém que o plano de trabalho determine alguma padronização quanto a esses procedimentos, acrescente-se, sob a forma de anexos, listas de material a serem utilizados preferencialmente para que depois se tenha controle do modo de operação de cada posto. De maneira genérica é preciso informar nesta etapa:

- i) Se as amostragens serão feitas por integração vertical ou então por ponto;
- ii) Se por integração, então quantas verticais devem ser adotadas no mínimo, e que tipo de técnica é mais recomendada (Igual Incremento de Largura - IIL ou Igual Incremento de Descarga - IID);
- iii) Tipo de molinete a ser utilizado, bem como o método de medição de descarga líquida e os procedimentos de cálculo, etc.
- iv) Listar os tipos de equipamento é recomendável ("check-list").

4.2 A Operação da Rede Sedimentométrica

Nessa etapa é feita, a cada visita a um posto sedimentométrico, uma análise das condições de operação de cada posto e, de acordo com essas condições, os materiais e equipamentos levados a campo são selecionados pelo hidrotécnico para a realização da amostragem de modo adequado às condições do rio e aos trabalhos que serão executados. O que significa dizer: decidir de que maneira o plano de trabalho pode ser melhor

executado. O procedimento adotado em campo deve ser reportado à equipe de planejamento e de análise. Como resultado dessa etapa, espera-se:

- i) Um relatório das condições operacionais de campo, onde deve ser informado:
 - se foi determinada a descarga líquida,
 - se foi realizada a amostragem para material em suspensão e/ou leito,
 - se a declividade da linha d'água foi determinada,
 - qual foi o método utilizado para amostragem de material em suspensão (IIL ou IID),
 - quantas verticais foram realizadas,
 - qual o volume total de amostras coletado,
 - se foi realizado algum procedimento “in situ”,
 - como foram armazenadas as amostras,
 - se foi determinada a temperatura,
 - lista de todos os valores obtidos em campo e as justificativas para qualquer desvio do que foi solicitado no plano de trabalho de operação.
- ii) Amostras coletadas e folhas de cálculo de descarga líquida.

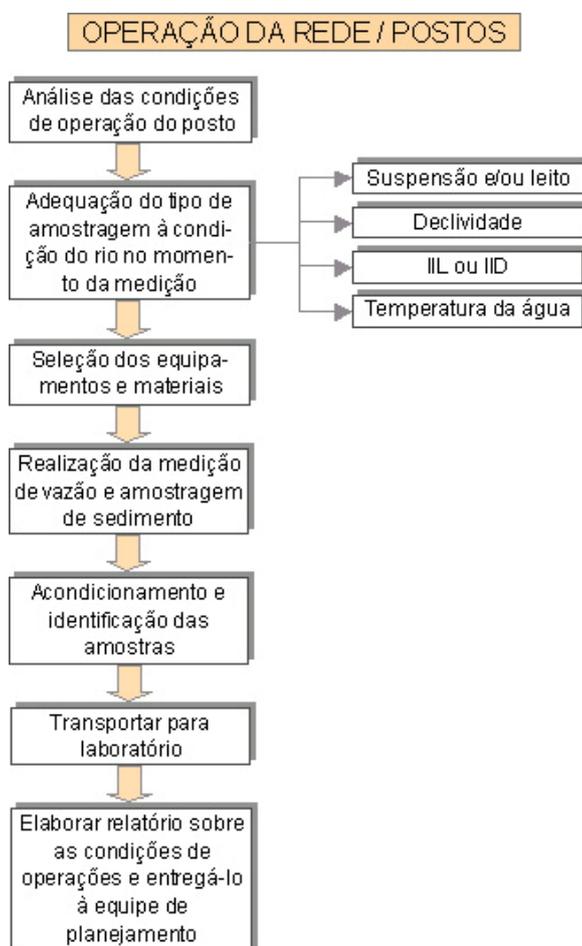


Figura 4.3 – Etapas da operação da rede.

4.2.1 Técnicas de amostragem

a) Amostragem do material em suspensão

Os métodos ou técnicas de amostragem são: pontual instantâneo, pontual por integração e integração na vertical ou em profundidade.

As amostragens pontuais são utilizadas somente em trabalhos específicos ou científicos, sendo a mais rotineira a integração na vertical, porque permite a obtenção da concentração e da granulometria média na vertical. Na amostragem por integração a amostra é coletada em um certo tempo, normalmente superior a 10s, o que permite a determinação da concentração média mais representativa do que a pontual instantânea.

A amostragem é feita em várias verticais para permitir a obtenção de valores médios em toda a seção, uma vez que a distribuição de sedimentos é variável em toda a largura do rio e em profundidade (Figura 4.4).

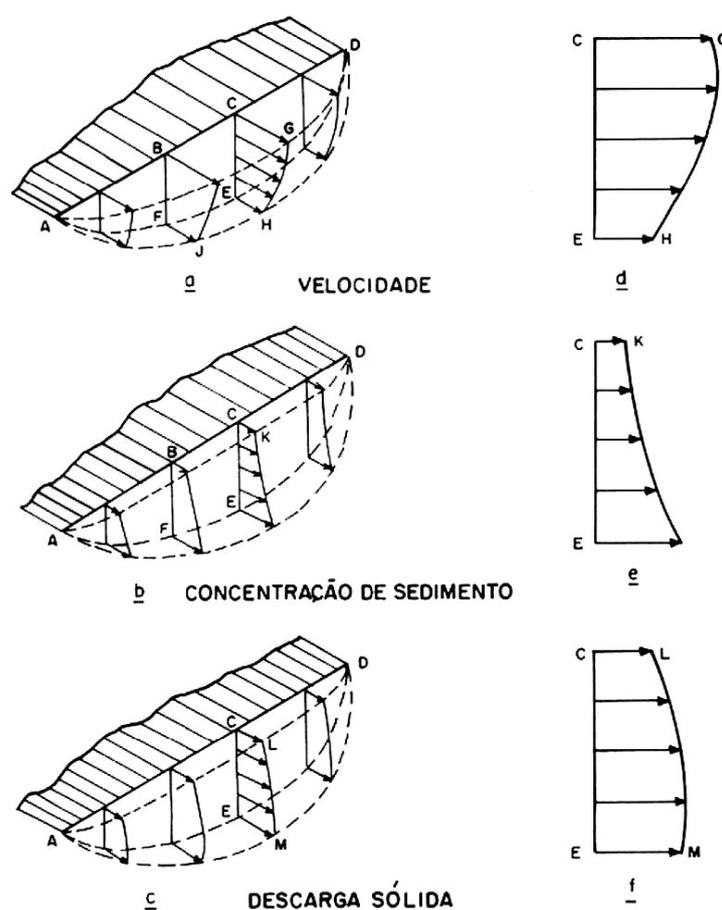


Figura 4.4 – Distribuição da velocidade da corrente, concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal (Guy, 1970, e outros).

Não devem ser realizadas amostragens em local de águas paradas, devendo considerar apenas a largura de água corrente. Evitem-se amostragens atrás de bancos de areia e pilares de pontes.

Durante o processo de amostragem é necessário medir a temperatura da água para obtenção da viscosidade cinemática, que é um valor utilizado em diversas fórmulas de

transporte de sedimento. O termômetro deve ser mergulhado completamente na água até que a temperatura se regularize, fazendo-se a leitura quase na superfície, na horizontal, sem retirá-lo da água.

Além da necessidade de fazer amostragens em verticais ao longo de toda a seção transversal, tanto em largura quanto em profundidade, deve-se que ter o cuidado de coletar amostras com quantidade suficiente para que sejam realizadas análises com a precisão desejada.

Para o sedimento em suspensão faz-se análise de concentração e, quando necessário, também de granulometria. A quantidade e características dos sedimentos, bem como qualidades químicas de componentes presentes na água influenciam o processamento das amostras. Amostras com pequena quantidade de sedimento podem não oferecer condição de boa análise com a precisão desejada, porque conduzem a erros de pesagem. Ao contrário, grandes quantidades requerem bipartição da amostra ou causam problemas de pesagem, ambos conduzindo a erros indesejáveis.

Assim, deverá sempre existir um entendimento permanente entre hidrometristas, laboratoristas e equipe de processamento para garantir que os trabalhos sejam realizados dentro das normas.

a. i) Amostragem por integração na vertical

A amostragem por integração na vertical pode ser feita em um só sentido ou em dois, de descida e subida. Faz-se em um só sentido apenas quando se controla a entrada da amostra por abertura e fechamento de válvula, como no caso do amostrador P-61. Os equipamentos DH-48, DH-59, D-49, amostrador de saca e outros só permitem a amostragem em dois sentidos.

Na amostragem por integração na vertical, a mistura água-sedimento é acumulada continuamente no recipiente, e o amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical. Esse procedimento é conhecido como IVT, Igual Velocidade de Trânsito (do inglês, *ETR, equal transit rate*). Normalmente, o amostrador não deve tocar o leito para não correr o risco de coletar sedimento de arrasto. Devido ao bico do amostrador ficar um pouco acima do fundo, há uma zona não amostrada de poucos centímetros de profundidade logo acima do leito do rio.

Para que a velocidade de entrada da amostra seja igual ou quase igual à velocidade instantânea da corrente é necessário que o bico fique na horizontal, isto é, o amostrador deve se movimentar sem haver inclinação. Isso ocorre quando a velocidade de trânsito, ou de percurso, é proporcional à velocidade média. Segundo estudos em laboratório, os bicos apresentam diferentes constantes de proporcionalidade, conforme as seguintes relações:

$$\text{Bico de } 1/8'': \quad v_t = 0,2.v_m \quad (4.1)$$

$$\text{Bicos de } 3/16'' \text{ e } 1/4'': \quad v_t = 0,4.v_m \quad (4.2)$$

Sendo

v_t - velocidade máxima de trânsito ou de percurso do amostrador
 v_m - velocidade média da corrente na vertical de amostragem

Para a prática de campo calcula-se o tempo de amostragem que, por ser inversamente proporcional à velocidade, corresponderá a um tempo mínimo:

Bico de 1/8":
$$t_{\min} = \frac{2 \cdot p}{v_t} = \frac{2 \cdot p}{0,2 \cdot v_m} \quad (4.3)$$

Bicos de 3/16" e 1/4":
$$t_{\min} = \frac{2 \cdot p}{v_t} = \frac{2 \cdot p}{0,4 \cdot v_m} \quad (4.4)$$

Sendo $2 \cdot p$ a distância percorrida de ida e volta pelo amostrador na profundidade p da superfície para o leito.

Numa coleta por integração vertical interessa sempre que se recolha uma amostra representativa. Procura-se, por isso, otimizar tal amostra enchendo a garrafa de 0,5l o máximo possível. Como a garrafa fica inclinada no bojo do equipamento, então o máximo que deverá conter será 400ml, ou conforme o indicado na Figura 4.5. Assim, o tempo de coleta pode ser maior do que o calculado pelas equações 4.3 e 4.4. O tempo mínimo de coleta para 400ml, calculado segundo as fórmulas acima, pode ser obtido do diagrama apresentado na Figura 4.6.

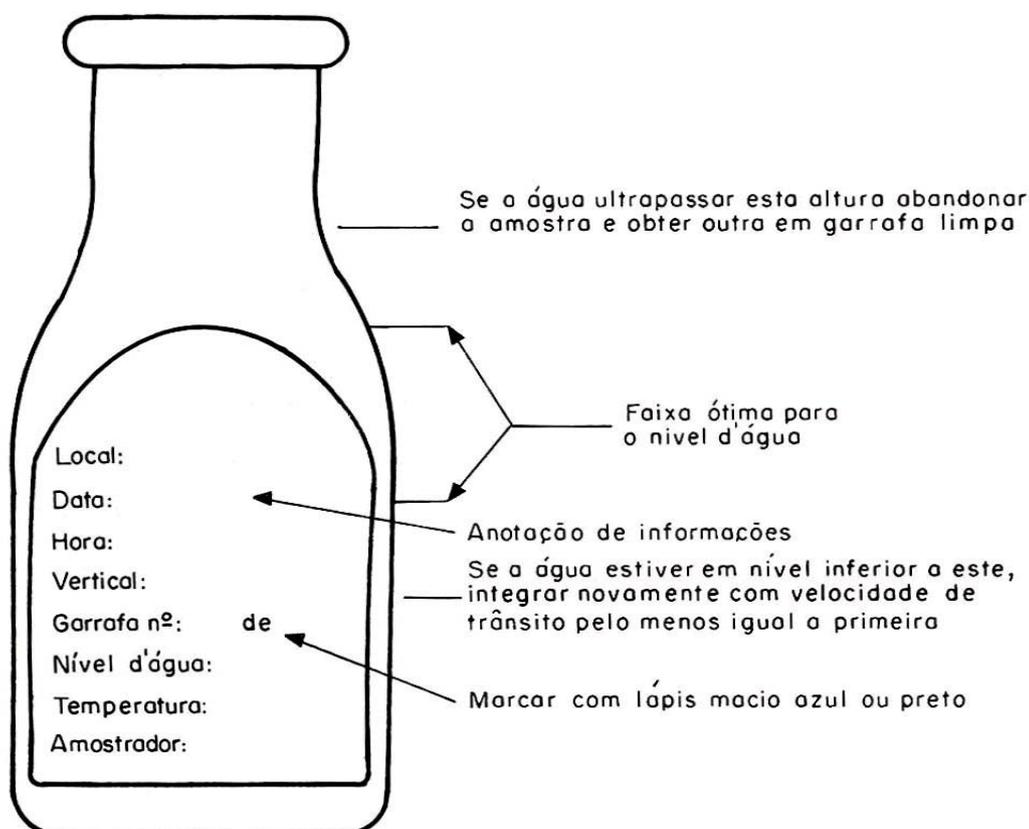


Figura 4.5 – Garrafa de amostragem indicando níveis a serem obedecidos.

Se não houver um critério adequado de amostragem, será necessário analisar cada amostra de cada garrafa. No entanto esse procedimento não é correto, porque uma pequena quantidade de água nem sempre permite a análise com a precisão necessária. Por

outro lado, a quantidade de análises em amostragem sem critério e os cálculos necessários fazem com que o procedimento seja inadequado. Assim, a amostragem por excelência é feita por igual incremento de largura ou igual incremento de descarga, que simplifica tanto o procedimento de análise quanto de cálculo, tornando mais preciso o resultado.

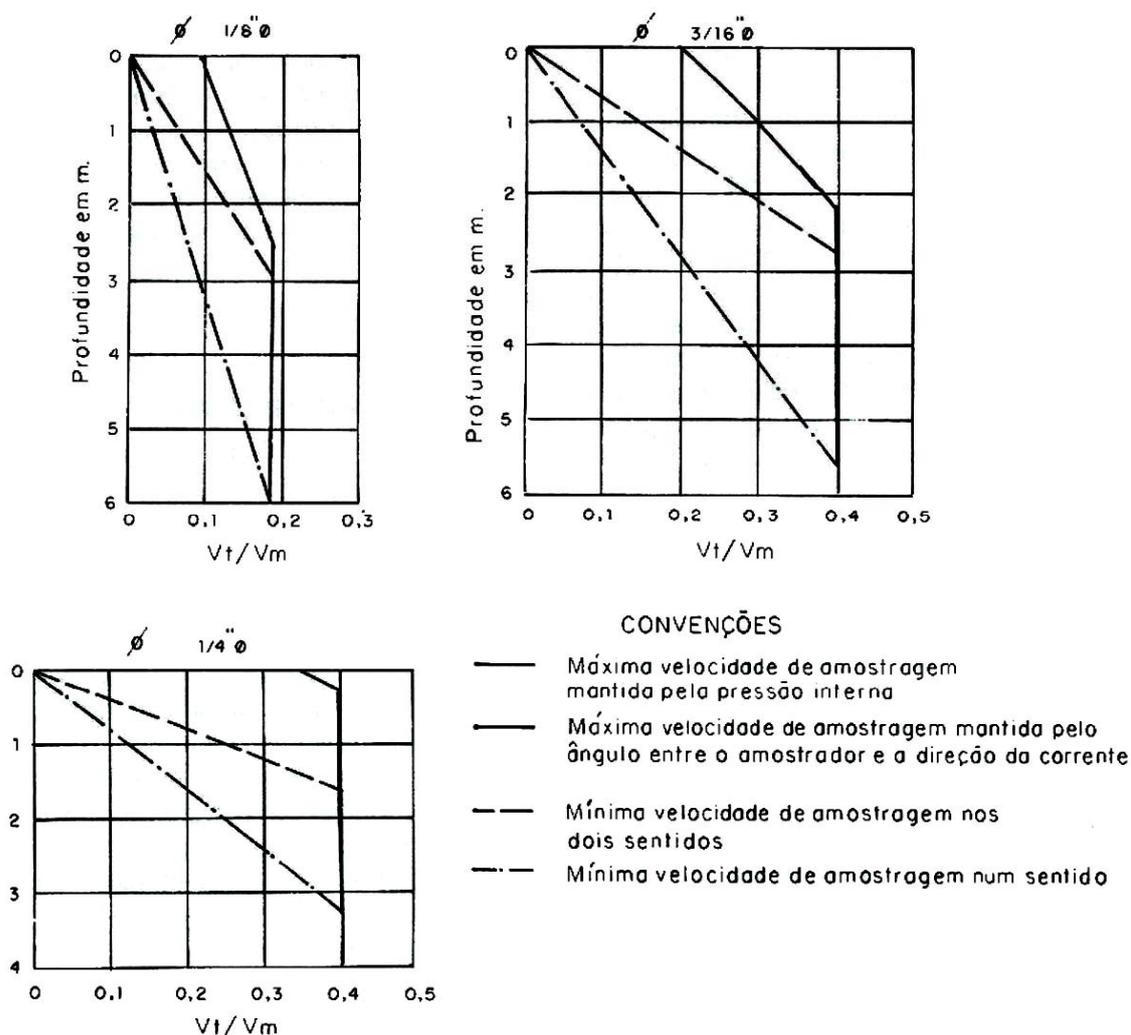


Figura 4.6 – Esquema de proporcionalidade entre velocidade de trânsito do amostrador e velocidade da corrente para os bicos padronizados (Subcommittee, 1963).

a. ii) Amostragem por igual incremento de largura, IIL

É o método mais utilizado para amostragem da mistura água-sedimento, devido a sua simplicidade. No método IIL a área da seção transversal é dividida numa série de verticais igualmente espaçadas. Em cada vertical se utiliza a amostragem por integração na vertical, mas com a mesma velocidade de trânsito em todas as verticais. Nesse caso deve-se também utilizar sempre o mesmo amostrador com o mesmo bico. Como as velocidades médias em cada vertical são diferentes, diminuindo geralmente do talvegue para as margens, então as quantidades amostradas por garrafa vão se reduzindo a partir do talvegue com quantidades proporcionais ao fluxo conforme mostrado na Figura 4.7.

Para a operação de campo e obtenção adequada das diversas amostras, em primeiro lugar é feita a medida da descarga líquida com verticais escolhidas igualmente

espaçadas para se ter as velocidades médias da corrente para o cálculo dos tempos de amostragem. No método IIL precisa-se de 10 a 20 subamostras, logo faz-se a medida da vazão com o dobro da quantidade de subamostras desejadas, uma vez que essa vazão tem normalmente um mínimo de 20 verticais. Em seguida, programam-se as verticais escolhidas para amostragem e procura-se entre elas a vertical que apresente a maior velocidade média, se a seção for regular, ou o maior produto entre velocidade média e profundidade, se a seção for irregular. Nessa vertical obtém-se a primeira amostra, adotando os procedimentos com o cálculo do tempo mínimo de amostragem (equações 4.3 e 4.4). O bico é escolhido conforme a velocidade: em baixas velocidades, usa-se o bico de 1/4"; em velocidades moderadas, o bico de 3/16" e em maiores velocidades, o de 1/8". É necessário que a primeira subamostra seja otimizada, isto é, que seja coletado um volume até o limite permitido na garrafa, ou próximo. As outras subamostras serão obtidas com tempos proporcionais a partir de uma regra de três entre o tempo padrão e as profundidades. Esses tempos de coletas das outras subamostras podem ser obtidos também pelo cálculo da nova velocidade de trânsito utilizada que será mantida em toda a amostragem.

As subamostras obtidas podem ser combinadas em uma só amostra composta para determinação da concentração média e, se necessário, da granulometria média, permitindo análises com a precisão desejável.

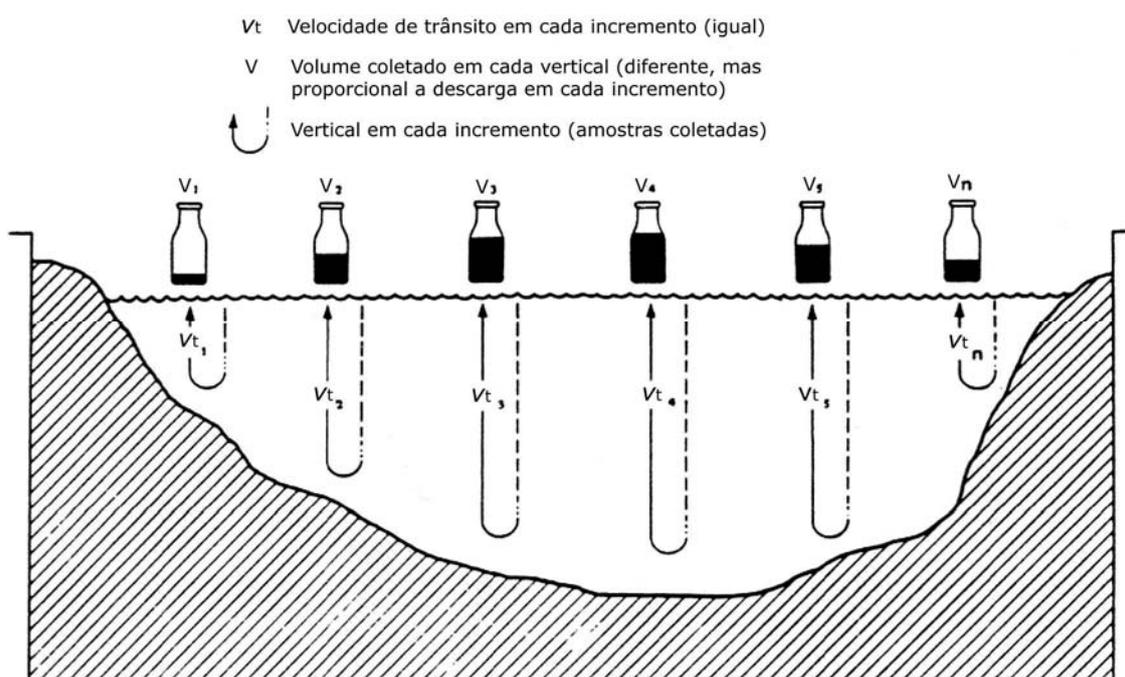


Figura 4.7 – Exemplo de amostragem pelo método de igual incremento de largura (Edwards/Glysson, 1988)

a. iii) Amostragem por igual incremento de descarga, IID

No método IID a seção transversal é dividida lateralmente em segmentos, representando iguais incrementos de descarga para que seja feita em cada um deles uma coleta de subamostra, dividindo cada incremento em duas porções iguais. Para esse procedimento é necessário primeiro efetuar a medição da descarga líquida e calculá-la. A partir desta medição faz-se um gráfico utilizando-se as porcentagens acumuladas da descarga, em ordenadas, em função das distâncias em relação ao ponto inicial das medições, em abscissas. Faz-se também os desenhos da seção transversal na parte inferior

do gráfico e das velocidades médias na seção. Nas ordenadas obtêm-se as porcentagens iguais ao número de amostras desejadas. O passo seguinte é a obtenção no gráfico das abscissas e profundidades desejadas para as posições das coletas. Para cada subamostra pode-se escolher o bico de acordo com a velocidade da corrente, calcular a velocidade de trânsito máxima (equações 4.1 e 4.2) e o tempo mínimo de amostragem (equações 4.3 e 4.4). A regra seguinte é que todas as subamostras tenham o mesmo volume, o que é desejável ser de 400ml ou próximo (ver Figuras 4.8 e 4.9). Nesse método podem-se coletar 5 a 15 subamostras que podem ser combinadas em uma só amostra composta para as análises necessárias.

No campo esse método pode ser feito praticamente pela medida da descarga líquida com um grande número de verticais, por exemplo, 35. Em seguida calculam-se as descargas parciais, as descargas acumuladas e a total. Divide-se esta pelo número de subamostras desejadas. A primeira amostra será obtida na abscissa, ou próximo, da metade do incremento de descarga. Depois vão-se somando os incrementos e obtendo-se as subamostras na abscissa correspondente, ou bem próximo dessas posições. Por exemplo: para coleta de 10 subamostras para descarga total de $100\text{m}^3/\text{s}$ resultará em $10\text{m}^3/\text{s}$ de incremento; a 1ª subamostra será coletada na abscissa acumulada de $5\text{m}^3/\text{s}$, a 2ª na abscissa de $15\text{m}^3/\text{s}$ e assim por diante, sendo a última na abscissa de $95\text{m}^3/\text{s}$.

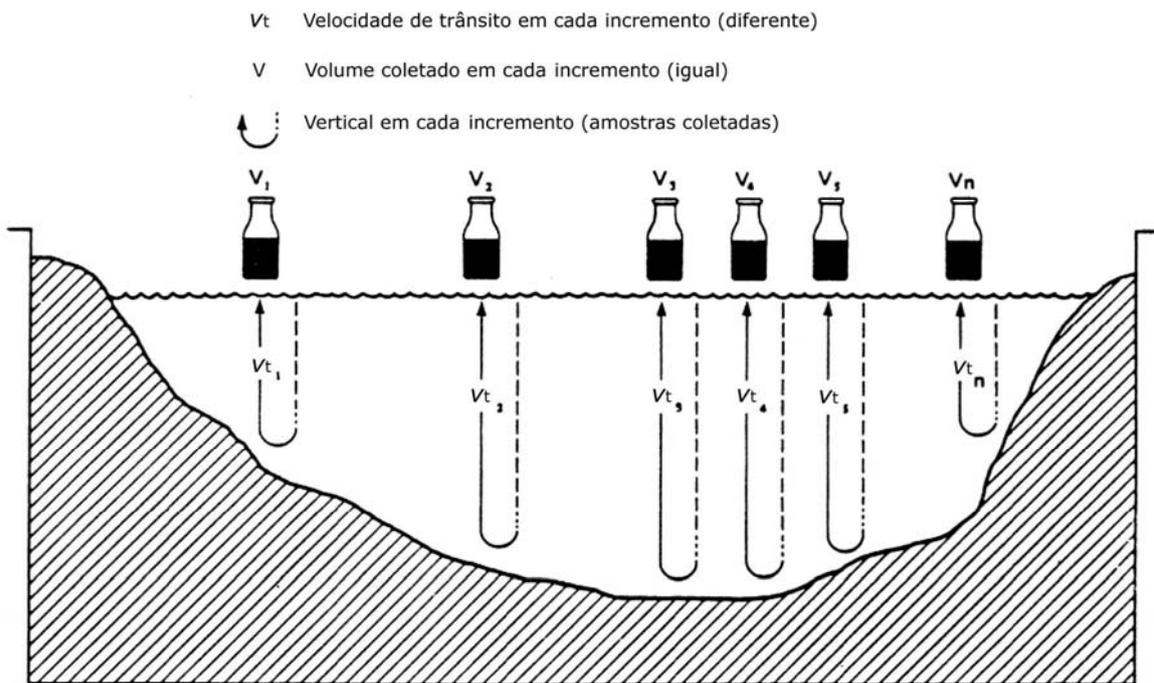
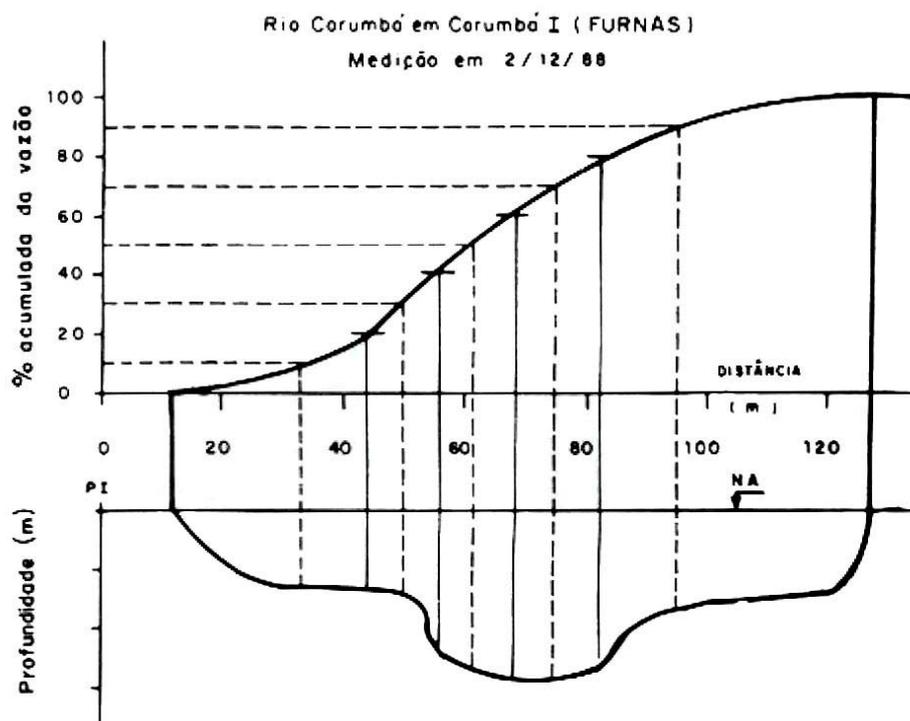


Figura 4.8 – Exemplo de amostragem pelo método de igual incremento de descarga (Edwards/Glysson, 1988).



| Abcissa Distância | Vazão Parcial | q/Q (%) | Σ q/Q (%) |
|-------------------|---------------|---------|------------------|
| 12,30 | - | - | - |
| 20,60 | 6,106 | 1,37 | 1,37 |
| 30,60 | 27,620 | 6,22 | 7,59 |
| 40,60 | 37,555 | 8,45 | 16,04 |
| 50,60 | 47,627 | 10,72 | 26,76 |
| 60,60 | 80,688 | 18,16 | 44,92 |
| 70,60 | 79,148 | 17,82 | 62,74 |
| 80,60 | 68,736 | 15,47 | 78,21 |
| 90,60 | 36,124 | 8,13 | 86,34 |
| 100,60 | 27,633 | 6,22 | 92,56 |
| 110,60 | 18,568 | 4,18 | 96,74 |
| 120,60 | 14,472 | 3,26 | 100,00 |
| 126,90 | - | - | - |
| Total | 444,277 | | |

| Incremento | % da Vazão | Abcissa Igual q | Abcissa de Amostragem | Profund. de Amostragem | Velocidade média | Máx. Vel. Trânsito | Tempo Mínimo |
|------------|------------|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------|--------------|
| 1 | 20 | 43,5 | 35,0 | 2,6 | 1,34 | 0,54 | 10 |
| 2 | 20 | 58,0 | 53,0 | 2,9 | 1,57 | 0,63 | 9 |
| 3 | 20 | 69,2 | 64,0 | 5,6 | 1,44 | 0,58 | 19 |
| 4 | 20 | 82,0 | 76,0 | 5,6 | 1,31 | 0,52 | 22 |
| 5 | 20 | 126,9 | 95,0 | 3,4 | 0,95 | 0,38 | 18 |

Figura 4.9 – Exemplo de traçado do gráfico e respectivos cálculos para amostragem de sedimento pelo método de igual incremento de descarga (falta na figura a distribuição de velocidade média).

a. iv) Anotações necessárias

Existem dois processos de etiquetagem ou de identificação das amostras: o primeiro é etiquetar cada garrafa com todos os dados necessários (figura 4.2); o segundo é simplificar a etiquetagem da garrafa e criar uma lista paralela.

Em qualquer processo é necessário identificar posto e rio, data, hora da coleta, número da garrafa, abscissa e profundidade de amostragem, nível d'água, temperatura da água, amostrador utilizado e nome do hidrometrista, todas indispensáveis. Outras informações úteis podem constar de um relatório do hidrometrista.

Nas amostras que sejam destinadas a determinação da granulometria deve-se colocar no campo solução de alumínio ou de cobre, para evitar floculação, na quantidade de 2 gotas para cada litro de amostra. Essa solução deve ser preparada em laboratório, a 10% em relação à quantidade de água destilada.

Os recipientes com as amostras devem ser bem tamponados para evitar derramamento durante transporte para o laboratório. Se possível, colocar um esparadrapo ou fita colante indicando o nível d'água no frasco.

b) Amostragem de material do leito

Para material do leito costuma-se coletar em cerca de cinco ou mais verticais distribuídas adequadamente ao longo da seção, podendo ser nas mesmas verticais utilizadas para amostragem em suspensão em posições alternadas, se for o caso. Procura-se apanhar pequena quantidade de material, de tal forma que a soma não ultrapasse muito 2 kg de material. O sedimento que é coletado na caçamba, em cada vertical, deve ser todo colocado num saco plástico, procurando-se fazer com cuidado para não perder os finos.

Os equipamentos de raspagem horizontal são operados em condições de baixas profundidades, utilizando o amostrador preso numa corda longa. O amostrador deve ser jogado para jusante, esperando-se que repouse no leito. Em seguida é arrastado para coletar o material passível de ser transportado por arrasto. O içamento deve ser vagaroso para não perturbar o material coletado. A retirada do material da caçamba só deve ser feita depois do repouso das partículas e retirada lenta do excesso de água.

Os equipamentos de penetração vertical, tipo Peterson, denominados dragas busca-fundo, são operados também com o amostrador preso numa corda, sendo a amostra obtida na vertical pretendida na seção. O amostrador é descido pelo seu peso, devidamente armado, soltando a haste e coletando a amostra ao tocar o leito, e em seguida içado vagarosamente. Cada amostra é colocada em saco plástico procurando-se aproveitar também os finos, eliminando cuidadosamente os excessos de água.

O BM-54 e similares são operados com o guincho. A caçamba é armada com a alavanca apropriada, estando o amostrador suspenso entre a superfície d'água e a roldana do guincho. Em seguida o amostrador é descido na posição de coleta, sendo que dispara a mola ao tocar no leito. O resgate da amostra é feito pela abertura da caçamba com auxílio da alavanca, devendo esta ficar acionando a mola e a caçamba. Apanha-se a amostra arrastando o material com uma haste de ferro. Em nenhuma hipótese se deve auxiliar com a mão e dedos dentro da caçamba devido ao perigo de acidente.

Etiquetam-se as amostras com os mesmos dados anteriormente citados.

c) Medida direta da descarga do leito

Essa medição tem técnica especial (ver Edwards/Glysson, 1988)

Utilizando os amostradores portáteis, normalmente operados de uma balsa com abertura no centro, faz-se a medição em cerca de 20 verticais igualmente espaçadas. O equipamento fica apoiado no leito no mínimo 2 minutos, de tal forma a reter uma quantidade de sedimento de cerca de 30 a 50% da capacidade do medidor. Içado vagarosamente, é retirado todo o sedimento da caçamba para que seja obtido o peso seco e a granulometria.

d) Amostragens em grandes rios

As medições em grandes rios são trabalhosas e demoradas. A medição de vazão com molinete, utilizando o posicionamento do barco com sextante, telêmetro ou teodolito (talvez até GPS), pode tomar a maior parte do dia solar. Por outro lado, fica difícil recolocar o barco nas posições antecedentes para fazer as amostragens de sedimento. Convém, então, que essas coletas sejam concomitantes com a medição da vazão.

Sendo as profundidades de um grande rio altas, utiliza-se o amostrador de saca. Para o cálculo da velocidade de trânsito máxima do amostrador na posição do talvegue procuram-se medições anteriores na seção e adota-se o valor de velocidade para o cálculo de v_t , e as profundidades de cada ponto para os cálculos do tempo de amostragem ou, no momento da medição determina-se essa velocidade previamente. A medição de vazão tem de ser feita com posições do barco aproximadamente equidistantes, isto é, pelo método IIL..

4.2.2 Definição do material adequado

Como, em geral, são poucos os equipamentos de amostragem em uso na operação e muitos os postos a serem visitados e operados, o hidrometrista tem de transportar quase todos para dispor desses equipamentos para a realização dos trabalhos em diversas condições. Uma lista deve ser providenciada e incluída em anexo ao plano de trabalho.

O molinete e seus acessórios, de fundamental importância, não devem ser esquecidos. Convém ter disponíveis dois molinetes completos para levar ao campo. Indispensável falar do equipamento auxiliar, como barco, guincho (figura 4.10), lastros de diversos pesos, cabo de aço marcado, nível topográfico, mira, telêmetro, sextante, ferramentas, etc. que devem ser previstos e estar listados.

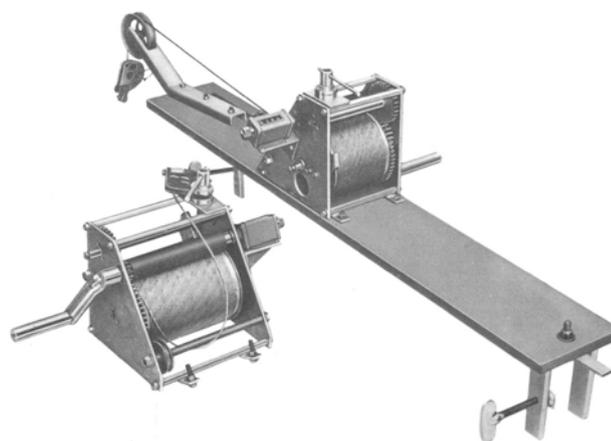


Figura 4.10 – Guincho hidrométrico, equipamento auxiliar da medição.

Caso o hidrometrista deva ir a somente um posto do qual conheça as condições de velocidade da corrente e profundidade, então poderá se deslocar a esse ponto com menor quantidade de equipamento de amostragem de sedimento. Por exemplo, se for em posto onde as profundidades na seção sejam até 2,5m e velocidades baixas, o hidrometrista deve escolher o amostrador em suspensão do tipo leve, como o DH-48 para medição a vau ou de barco, ou o DH-59, para uso com guincho. Para coleta de material do leito convém levar um amostrador do tipo cilindro de raspagem.

Se a seção de medição tiver profundidades até 4,5m com velocidade moderada, poderá levar o amostrador DH-59 para sedimento em suspensão. Se a velocidade for grande, então será necessário levar um amostrador mais pesado, como o D-49, que não é arrastado facilmente pela corrente. Para coleta de material de fundo convém levar o raspador e o BMH-60 ou, na falta deste, o BM-54.

Se a seção tiver mais que 4,5m de profundidade ou se for esperada uma enchente que eleve o nível d'água, é necessário levar o amostrador de saca ou o pontual P-61. Para coleta de material de fundo será necessário levar o BMH-60 ou o BM-54.

Caso existam outros equipamentos que não estejam especificados neste Guia, convém consultar as possibilidades de utilização do manual do fabricante.

4.2.3 A definição do tipo de equipamento no momento da amostragem

Os equipamentos disponíveis para amostragem de sedimentos nos serviços hidrométricos do país são, na sua maior parte, aqueles da série norte-americana. Apesar de terem sido utilizados outros métodos de medida da descarga sólida nos nossos rios, a obtenção usual é feita por método indireto pela amostragem da mistura água-sedimento e do material do leito na seção transversal. Esse é o método tradicional em serviços de sedimentometria da maioria dos países. Nesse método indireto, as amostras são enviadas ao laboratório para análise de concentração e de granulometria, sendo os cálculos da descarga sólida feitos posteriormente.

O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais precisos e funcionais. Para ser citado somente um, há o caso do ADCP, que é utilizado para a medida da vazão instantânea dos rios, existindo no momento vários no país. É um equipamento que também pode possibilitar o conhecimento da descarga de sedimento em suspensão de modo completo. No entanto, precisa de uma boa série histórica de dados para calibração, e as implicações técnicas são grandes devido a dispersões do ultra-som oferecido pelas partículas irregulares mais grossas e que não são completamente detectadas pelos sensores, exigindo calibrações por técnicos altamente especializados e a implantação de um modelo apropriado num sistema computacional.

Outros equipamentos, como o turbidímetro, que registra continuamente a medida da turbidez em um ponto fixo, deve ser calibrado com os equipamentos tradicionalmente utilizados para medições ao longo da seção para que se obtenham valores médios da concentração.

Existem ainda no país equipamentos de fabricação francesa e holandesa, operados por diversas entidades, como o amostrador Neyrpic e a garrafa Delft para sedimento em suspensão, bem como o medidor Arnhem para sedimento do leito. Mais recentemente

entraram no Brasil equipamentos de bombeamento do tipo de bandeja rotativa para sedimento em suspensão em ponto fixo que faz amostragens automáticas em tempos pré-determinados (ver item 4.1.3).

a) Equipamentos para amostra em suspensão

Os equipamentos para amostragem de sedimento em suspensão, em geral, têm forma hidrodinâmica, para amostragem por integração na vertical, e são fabricados em alumínio, bronze ou aço. Devido ao seu tamanho físico, os amostradores existentes só conseguem coletar até certo limite do leito, ficando uma zona não amostrada.

Os equipamentos de forma geral são construídos para fácil operacionalidade, utilizando o material auxiliar da hidrometria, e possibilitam que sejam efetuadas coletas em toda a largura do rio. São portáteis e permitem a retirada fácil da amostra que deve ser guardada na garrafa de amostragem. Em condições especiais pode ser estudada a transferência de várias amostras para um único recipiente. O material do leito normalmente é transferido para sacos plásticos.

Os amostradores da série norte-americana têm bicos cambiáveis com diâmetros de 1/4", 3/16" e 1/8", para amostragens em velocidades baixas, médias e altas, o que é também uma função da profundidade no local. Os bicos e bocais dos amostradores de material em suspensão permitem que a velocidade de entrada da amostra seja igual à velocidade da corrente, desde que operado com a técnica correta. Os bicos são fabricados em comprimentos diferentes para cada amostrador, não devendo ser trocados entre os equipamentos.

Os equipamentos para amostragem de sedimento em suspensão são do tipo integradores na vertical, acumulando uma mistura água-sedimento obtida com um movimento constante ascendente e ou/descendente, desde a superfície até o leito ou bem próximo deste.

Os amostradores fabricados para garrafa de 0,5l, para coleta por integração na vertical, só podem coletar a mistura até 4,5m, ou próximo dessa profundidade, e os de garrafa de 1,0l até 7,0m, o que deve ser verificado em cada caso, utilizando os procedimentos de amostragem adequados (ver Tabela 4.3). No país são fabricados o amostrador DH-48, DH-59, D-49 e P-61, o que representa pouco em relação às diversas condições encontradas nos rios brasileiros. Esses equipamentos também podem ser construídos para comportar garrafas de 1,0 litro que permitem aumentar a profundidade de amostragem.

O amostrador de saca pode coletar em qualquer profundidade utilizando uma saca de 4,0l ou maior. O amostrador com garrafa precisa de um suspiro para expulsão do ar, enquanto que o amostrador de saca faz a coleta com a saca comprimida, isenta de ar. Também é fabricado no país, mas deve ser melhorado para se tornar mais operacional a partir de uma canoa pela redução da distância não amostrada.

O amostrador **USDH-48**, ou **AMS-1** dos fabricantes nacionais, é construído em alumínio com corpo de forma hidrodinâmica, tendo haste para operação a vau ou de canoa, em profundidades baixas, até 2,7m para uso em coleta por integração na vertical em dois sentidos. Utiliza bico de 1/4" e garrafa de 0,5l, sendo a distância do bico ao fundo do amostrador igual a 0,091m. Pode ser adaptado com um dispositivo para uso em suspensão,

podendo-se trocar o bico para os diâmetros menores que 3/16” e 1/8” para amostragens em maiores profundidades com limite de 4,5m. Como é leve, só pode ser usado em condições de baixa velocidade pelo processo de integração na vertical em dois sentidos (Figura 4.11). Esse amostrador pode facilmente ser fabricado para utilizar garrafa de 1,0l permitindo amostragens até 6,0 a 7,0m, de acordo com a velocidade da corrente e o bico a ser utilizado.

Tabela 4.3 - Amostradores de sedimentos em suspensão de maior uso

| Tipo do Amostrador | Denominação Original | Denominação Nacional | Origem | Diâmetro dos Bicos Calibrados | Peso do Amostrador | Comprimento do Amostrador | Modo de Uso | Distância do Bico ao Leito | Profundidade de Amostragem |
|-------------------------------------|--|----------------------------|--------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Integração Vertical | US-DH-48 | AMS-1 | EEUU | 1/4" | 3,0kg com haste | 32cm | Haste, a vau | 0,09m | 1,5m |
| | US-DH-48 | | EEUU | 1/4" | 3,3kg com haste | 32cm | Haste, a vau | 0,09m | 4,5m |
| | US-DH-48 c/peso e cauda alongada | | EEUU | 1/4" | 4,5kg | | Cabo manual | 0,09m | 4,5m |
| | US-DH-59 | AMS-3 | EEUU | 1/8", 3/16" e 1/4" | 9,4kg | 42cm | Cabo manual ou guincho | 0,10m | 4,5m |
| | US-D-43 | | EEUU | 1/8", 3/16" e 1/4" | 23kg | | Guincho | 0,12cm | 5,5m |
| | US-D-49 | AMS-2 | EEUU | 1/8", 3/16" e 1/4" | 27,5kg | 61cm | Guincho | 0,10cm | 5,5m |
| | Collapsible bag suspended sediment sampler | AMS-8 (amostrador de saca) | EEUU | 1/8", 3/16" e 1/4" | 14,4kg | 80cm | Guincho | Variável | 100m |
| Pontual ou de Integração por Partes | US-P-46 | AMS-4 | EEUU | 3/16" | 50,0kg | 70cm | Guincho | 0,12cm | 22m * |
| | US-P-61 | | EEUU | 3/16" | 48,0kg | | Guincho | 0,11cm | 37m ** |
| | US-P-63*** | | EEUU | 1/8", 3/16" e 1/4" | 91,0kg | 86cm | Guincho | 0,15cm | 37m ** |
| | US-U-59 | | EEUU | | 2,0kg | | Fixo | Variável | Superfície |

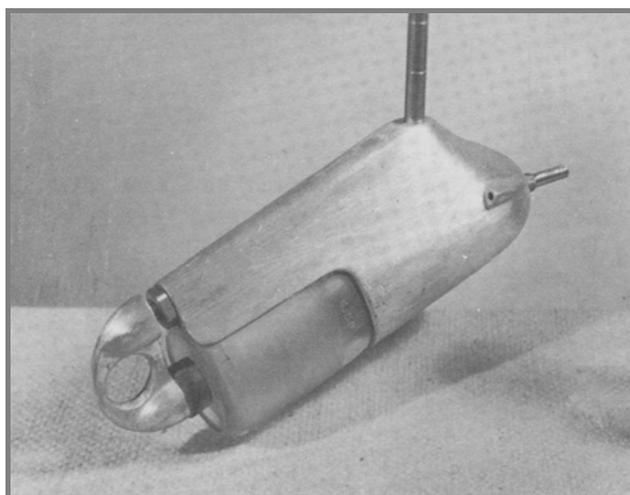


Figura 4.11 – Amostrador de sedimento em suspensão USDH-48 (AMS-1).

O **USDH-59**, ou **AMS-3**, é leve, fabricado em bronze, com forma hidrodinâmica, para uso em suspensão com guincho instalado em canoa. Utiliza os três bicos padrões e garrafa de 0,5l, sendo a distância do bico ao fundo do amostrador igual a 0,102m. Por ser leve, só pode ser usado em condições de baixa velocidade pelo processo de integração na vertical em dois sentidos e até 4,5m (Figura 4.12). Adaptado para garrafa 1,0l pode coletar até 6,0 ou 7,0m.

O **USD-49**, ou **AMS-2**, é um amostrador de forma hidrodinâmica para uso em maiores velocidades da corrente, e pesa quase 30kg. Utiliza os três bicos padrões e a garrafa de 0,5l, podendo amostrar só até 4,5m, ou um pouco mais, em processo de

integração na vertical em dois sentidos. A distância do bico ao fundo do amostrador é de 0,122m (Figura 4.13). Adaptado para garrafa de 1,0l, pode amostrar em profundidades até 6,0 a 7,0m.

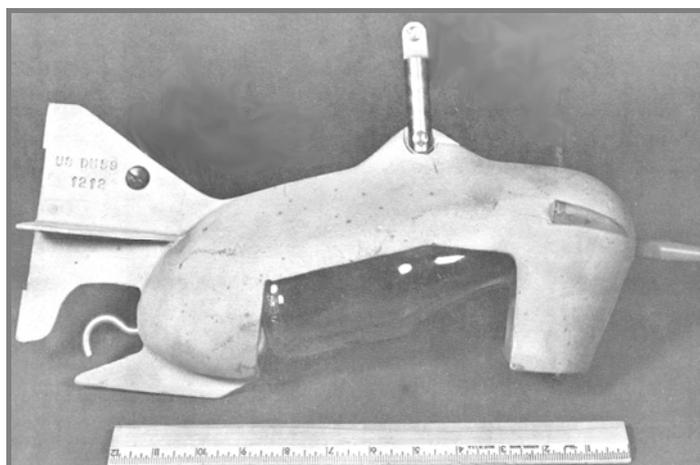


Figura 4.12 – Amostrador de sedimento em suspensão USDH-59 (AMS-3).

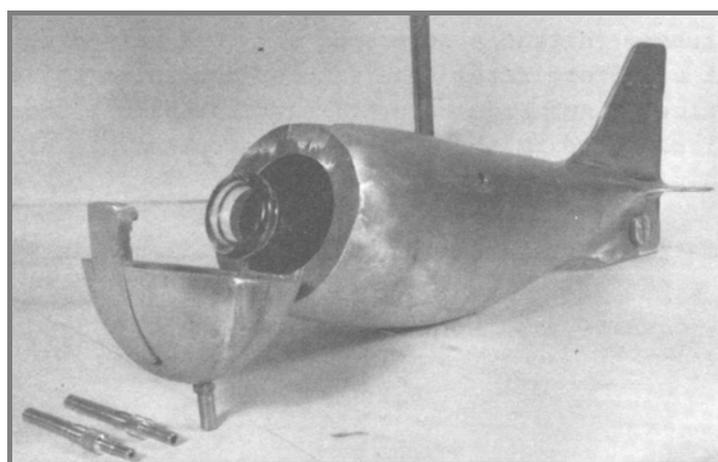


Figura 4.13 – Amostrador de sedimento em suspensão USD-49 (AMS-2).

O **USP-61**, ou **AMS-4**, é um amostrador do tipo integrador pontual, de forma hidrodinâmica, que possui uma válvula que pode ser acionada eletricamente para admissão da amostra. Utiliza garrafa de 0,5l e os bicos cambiáveis, tendo peso de 48kg. Caso seja construído para garrafa de 1,0l, o amostrador pode coletar até 36,0m, de acordo com as tabelas existentes de uso dos equipamentos (USDA et al., 1978). Esse amostrador também pode ser utilizado como integrador em um ou dois sentidos, por partes, até atingir a profundidade total. Para utilização em maiores profundidades é necessário trabalhar com um regulador de pressão do ar (Carvalho, 1994).

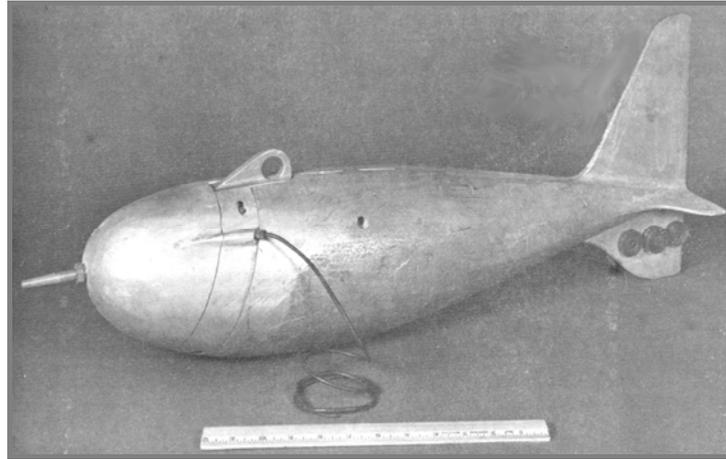


Figura 4.14 – Amostrador de sedimento em suspensão USP-61 (AMS-4).

O **amostrador de saca compressível**, ou **AMS-8**, utiliza um cilindro de alumínio com bocal para adaptação adequada da saca; tem um leme para direcionamento do amostrador com a corrente. É usado com os bicos cambiáveis e necessita de lastro devido ao seu tamanho e peso leve; por causa disso a zona não amostrada, ou distância do bico até a posição inferior que é o fundo do lastro, fica superior a 50cm e deve ser medida e anotada na folha de medição. A operação desse amostrador com canoa comum é trabalhosa, devendo ser adotado dispositivo adequado (Figura 4.15)

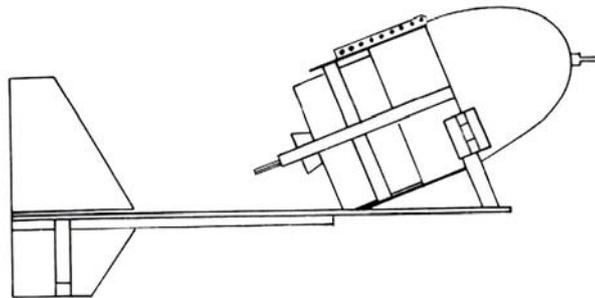


Figura 4.15 – Amostrador de saca compressível para sedimento em suspensão.

O **coletor de amostra d'água** do tipo de cilindro horizontal para amostragem pontual instantânea é destinado a análise de qualidade e de sedimentometria. Opera com mensageiro que dispara duas válvulas especiais de borracha que vedam as extremidades quando o gatilho é disparado (Figura 4.16).



Figura 4.16 – Coletor de amostra d'água (Projeto Hibam)

b) Equipamentos para amostra do leito

O **Rock-Island**, ou **AMF-2**, é um amostrador do tipo de raspagem com 7,5kg, possui um dispositivo de suspensão no interior que altera a amostra ao ser içado, provocando a saída dos finos. Devido a isso não deve ser utilizado (Figura 4.17). O registro é feito aqui porque existem muitos desses equipamentos em serviços no Brasil. É preferível construir um amostrador semelhante a partir de um cilindro de aço ou ferro fundido de 30cm de comprimento e 10cm de diâmetro com a suspensão lateralmente em duas orelhas soldadas fora. Utiliza-se em baixas profundidades.

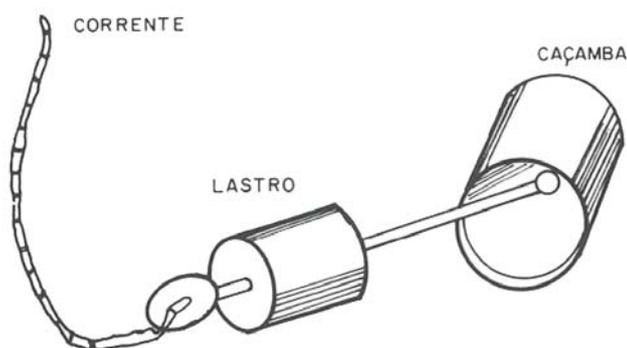


Figura 4.17 – Amostrador Rock-Island para sedimento do leito (equipamento impróprio).

O **amostrador Peterson** ou **busca-fundo** é do tipo de penetração vertical, tendo duas partes em caçambas do tipo draga com dispositivo em alavanca, de braço móvel, que dispara ao tocar o leito. Deve sempre ser procurado um modelo desse equipamento que não permita a perda dos finos ao ser içado para o barco (Figura 4.18). Utiliza-se em baixas profundidades.

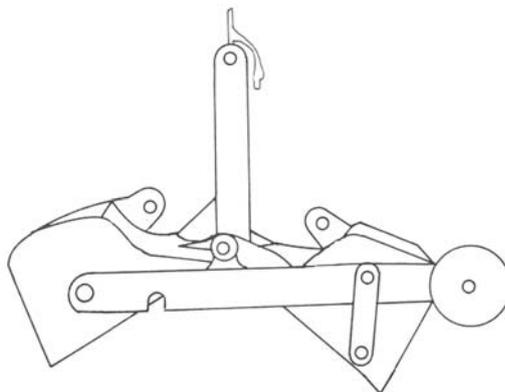


Figura 4.18 – Amostrador tipo Peterson para sedimento do leito.

O **USBM-54**, ou **AMF-1**, é um amostrador do tipo de penetração vertical de forma hidrodinâmica. Usa uma caçamba que é armada por mola e que fica acondicionada no bojo. É eficiente na amostragem, mas requer muito cuidado no manuseio devido à forte pressão da mola e facilidade de ser disparada. Pesa quase 50kg, sendo operado por guincho até grandes profundidades, e utilizado em condições de maiores velocidades. A caçamba coleta uma pequena camada do leito (Figura 4.19).

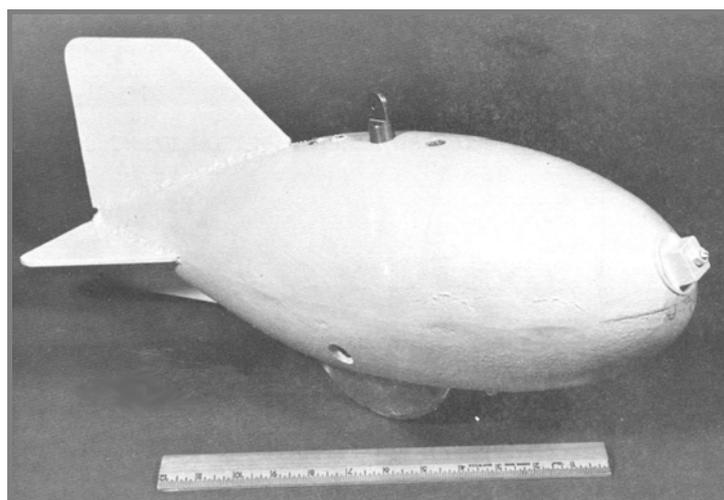


Figura 4.19 – Amostrador BM-54 para sedimento do leito.

O **USBMH-60** é similar ao USBM-54 mas de menor peso, um pouco menos que 20kg, e de mais fácil operação, para uso em velocidades moderadas. Utiliza a mesma caçamba e a mola, sendo necessário também cuidado no manuseio. Não é fabricado no país mas existem alguns equipamentos importados.

O **USBMH-53** é um equipamento do tipo *piston-core* para uso manual em baixas profundidades. Consiste em uma peça contendo um pistão dentro de um cilindro de 2" de diâmetro e 8" de comprimento, que é pressionado no leito do rio para coletar a amostra pela pressão de uma manivela no topo da peça. O comprimento total do amostrador é de 46". Quando o cilindro é pressionado no leito, o pistão se retrai e retém a amostra por meio de vácuo parcial. O pistão é usado também para ejetar a amostra (Agriculture, 1978).

4.2.4 Calibragem dos equipamentos

Normalmente o fabricante deve orientar esse procedimento. Os equipamentos que precisam ser calibrados são os amostradores de material em suspensão cujos bicos tenham sofrido avarias e recuperados. A calibragem pode consistir na verificação da eficiência hidráulica.

Para a calibragem deve-se ter um molinete, um cronômetro, uma proveta graduada de 1.000ml e os valores das áreas dos bicos (Nordin, 1981 e Carvalho, 1994). A primeira providência é medir a velocidade da corrente v num ponto que, no caso do amostrador de uso por integração tem de ser bem próximo da superfície. Em seguida, coletar a amostra no mesmo ponto medindo o tempo t de amostragem. A velocidade no bico v_n é:

$$v_n = \frac{V}{a_b \cdot t} \quad (4.5)$$

sendo,

- v_n - velocidade no bico, em cm/s
- V - volume da amostra, em cm³
- a_b - área do bico, em cm²
- t - tempo de amostragem, em s

As áreas dos bicos são as seguintes:

| Diâmetro | | Área |
|----------|--------|--------------------|
| (pol.) | (mm) | (cm ²) |
| 1/8 | 3,1750 | 0,079173 |
| 3/16 | 4,7625 | 0,178139 |
| 1/4 | 6,3500 | 0,316692 |

A eficiência hidráulica é dada pela expressão:

$$Ef. hid. = \frac{v_n}{v} \quad (4.6)$$

sendo v a velocidade no ponto em cm/s.

Esse valor tem que estar próximo de 0,95 para revelar um bom desempenho do amostrador. Os erros serão maiores com o aumento da granulometria. Se a eficiência hidráulica ficar abaixo de 0,90, será necessário verificar se o bico apresenta defeito na entrada ou alguma rugosidade interna. Nesse caso deverá ser trocado.

Um bico deve ter forma hidrodinâmica e o furo perfeitamente liso. Mesmo uma pequena irregularidade na entrada pode reduzir a eficiência de 10 a 15%, não permitindo boa amostragem. A redução da eficiência também pode ser o resultado de defeito no amostrador. No caso de amostrador de saca, pode ser o resultado de uma saca frouxa ou mesmo enrugada na boca do recipiente, provocando o afogamento do bico durante a amostragem.

4.2.5 *Manutenção dos equipamentos*

Antes de sair para o campo é sempre necessário verificar as condições dos equipamentos. É importante que o hidrometrista tenha uma lista de verificação de equipamentos e materiais necessários para viagem (*check-list*). Na Tabela 4.4 é apresentada uma lista que pode servir de orientação.

Tabela 4.4 – Lista de equipamentos e materiais de uso na hidrometria a serem levados ao campo (esta lista pode ser complementada ou modificada pelo hidrometrista conforme conveniência).

| |
|--|
| Molinete hidrométrico |
| Contador de rotações (ou de velocidades) |
| Cronômetro |
| Amostrador DH-48 + haste |
| Amostrador DH-59 |
| Amostrador D-49 |
| Amostrador de saca |
| Amostrador de leito tipo caçamba |
| Amostrador BM-54 |
| Amostrador BMH-60 |
| Guincho hidrométrico com 15m de cabo |
| Guincho hidrométrico com 25m de cabo |
| Lastro de 25 ou 30kg |
| Lastro de 15kg |
| Telêmetro para medida até 1.000m (ou sextante) |
| Teodolito, baliza e mira |
| Nível topográfico e mira |
| Escalas fluviométricas |
| Trena de 25m |
| Canoa |
| Pequena âncora (poita) |
| Motor de popa |
| Cabo de aço de 1/8” com 100m, graduado a cada 2m (para uso em pequenos rios) |
| Cabo de aço de 3/16” com 300m, graduado a cada 5m (para rios de médio porte) |
| Caixa de ferramentas |
| Carro apropriado, tipo pick-up |
| Demais materiais como corda, par de moitões, enxadas, trado de terra, facões, nível de pedreiro, trado de madeira e brocas, foice, marretas de 1,5kg e de 6kg, machadinha, martelo, serrote, pincéis, tintas, pregos, fio elétrico, etc. |

Os amostradores que utilizam garrafas exigem que seja testado o seu bom funcionamento. O mais importante é testar vazamento assoprando no bico enquanto com o dedo se tapa a saída do ar no suspiro. Se o ar estiver saindo entre a boca da garrafa e a borracha de pressão, então é necessário trocar essa borracha.

O amostrador de saca compressível exige que seja verificado vazamento na saca insuflando ar. Durante a viagem a trabalho, caso a saca apresente esse defeito ou falte saca, então pode-se utilizar uma saca plástica forte que é usada para embalagem de 5kg de arroz.

Outro cuidado permanente é com os bicos dos amostradores que podem ser amassados no manuseio que, nesse caso, deverão ser recuperados ou trocados. Quando recuperados (desamassado ou lixado) deverá ser efetuada a calibragem de cada um.

O amostrador do leito USBM-54 deve estar com a mola em bom funcionamento. A mola pode ser apertada ou afrouxada por meio de um parafuso no fundo.

Existem inúmeros outros cuidados que os equipamentos podem exigir, sendo que o fabricante pode apontar especificamente ou o hidrometrista experiente e consciente pode deduzir.

4.2.6 Novos equipamentos para sedimentos em suspensão

A necessidade do conhecimento das quantidades de sedimento transportados nos cursos d'água é crescente, tanto pelo aumento do número de obras de aproveitamento dos recursos hídricos como pelos problemas decorrentes do aumento do transporte de sedimento nesses cursos, ao uso da terra e conseqüente erosão. Equipamentos que possam medir continuamente a descarga sólida são projetados e instalados de tal forma a garantir a obtenção de dados em condições críticas de transporte de sedimento, como sejam as ocasiões de fortes precipitações, cujas enxurradas levam grande quantidade de sedimento para o curso d'água. As medidas dos piques se tornam de grande valor bem como a quantidade total de sedimentos transportado nas ocasiões de grandes cheias.

O aumento do uso da terra inclui o uso de pesticidas e outros poluentes que são transportados junto com o sedimento para o rio, tornando a medida da carga sólida junto com as substâncias estranhas uma questão de grande importância para estudos ambientais.

Assim, os equipamentos existentes são melhorados em eficiência, em possibilidade de uso contínuo e também para medidas em condições adversas.

O Subcomitê em Sedimentação (EUA) continua projetando e construindo equipamentos e dispositivos auxiliares, melhorando os antigos ou procurando novas versões. Os primeiros equipamentos foram projetados para adaptação da garrafa de 1 pint que permitia a compra do frasco de leite em qualquer parte do país. Posteriormente, com a restrição de uso em maiores profundidades que 4,5m, os amostradores foram adaptados para conter o frasco de 1 quart.

O DH-75-P e o DH-75-Q são amostradores para integração vertical com uso de garrafas plásticas (Figura 4.20).

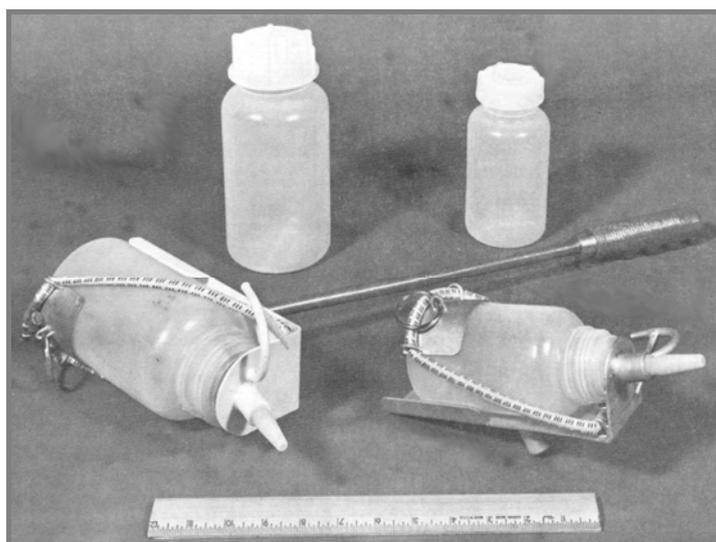


Figura 4.20 – Amostradores DH-75 e seus acessórios para capacidades de 1 pint e 1 quart (Subcommittee on Sedimentation, 1986).

O DH-81 é um amostrador para uso por integração vertical que consta de um bico plástico para ser adaptado a um frasco que pode ser comprado em qualquer confeitaria do país (Figura 4.21).

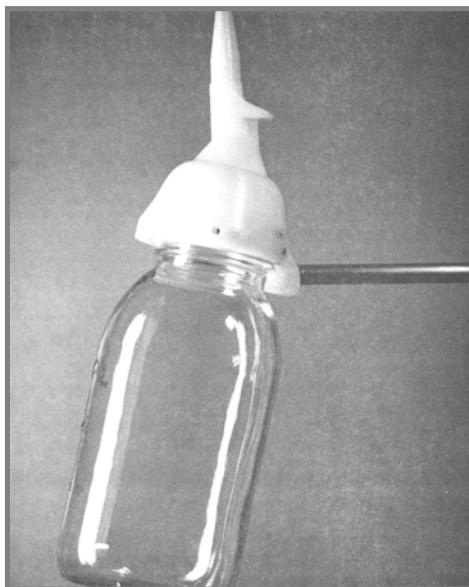


Figura 4.21 – Amostrador D-81 para garrafa de 1 quart (Subcommittee on Sedimentation, 1986).

O D-77 é um amostrador que pode efetuar coleta em grandes profundidades por integração vertical, tendo um recipiente plástico de 3 litros. Pode ser adaptado para amostragem pontual (Figura 4.22).

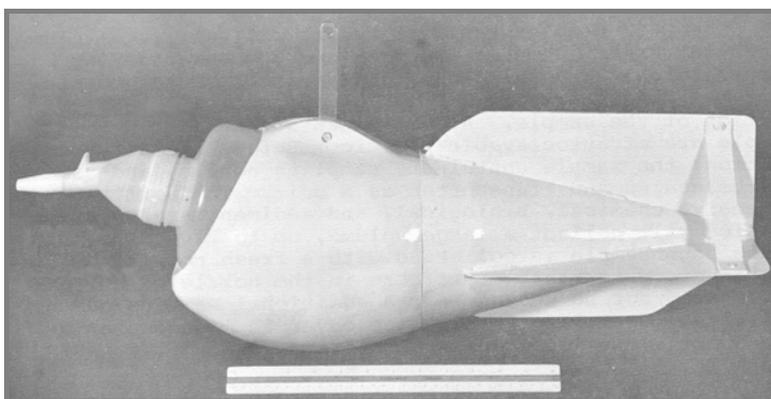


Figura 4.22– Amostrador D-77 da série norte-americana para uso em rios profundos (Rickly, 1997).

Foram desenvolvidos equipamentos nucleares, dos tipos portátil e de instalação fixa na margem, para medida de concentrações muito elevadas, maiores que 100g/l, em condições de regime torrencial e também durante enchentes de curto período. Tais equipamentos foram construídos e utilizados pelo Instituto de Geologia e Geofísica da Universidade de Nápoles, Itália, sendo mostrado um esquema na Figura 4.23 de um dos equipamentos utilizados em diversas pesquisas (Tazioli, 1981).

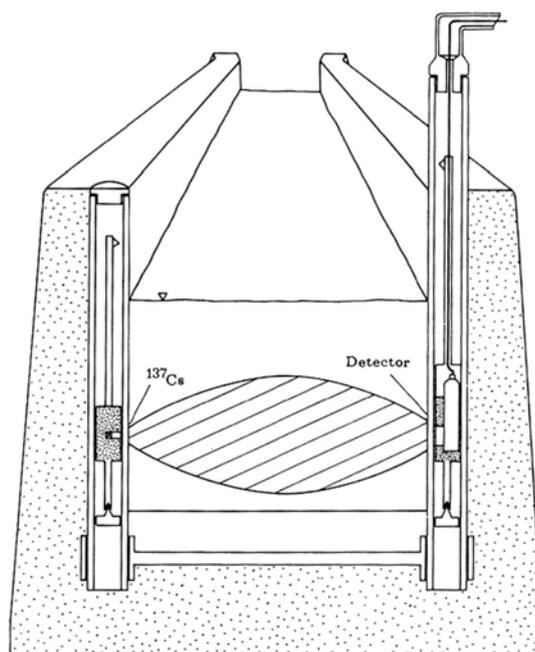


Figura 4.23 – Estação sedimentométrica com equipamento fixo nuclear (Tazioli, 1981).

Equipamentos nucleares portáteis para medida de concentrações pontuais muito elevadas foram construídos pelo Instituto de Pesquisa Hidráulica, em Zhengzhou, China, para medidas de sedimento no Rio Amarelo (Zhu e outros, 1981). Na Hungria foram também desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas para Aproveitamento de Recursos Hídricos, equipamentos desse tipo para medidas entre 500 a 12.000mg/l (Berke e Rákóczi, 1981). Esse equipamento pode ser fixado em uma posição para medida de sedimento em condições de enchentes de curto período.

Turbidímetros para medida contínua de sedimento em suspensão nos rios têm sido construídos para instalação fixa e com possibilidade de medir concentrações pontuais de 0 a 5.000mg/l. Diversas entidades têm realizado estudos bem sucedidos com uso desse tipo de equipamento, entre elas o Instituto de Pesquisa Hidrológica, em Pretoria, África do Sul (Grobler e Weaver, 1981), e a Estação de Pesquisa Hidráulica, Wallingford, Oxfordshire, UK (Brabben, 1981).

O PS-69 é um equipamento de bombeamento da série norte-americana. Permite a instalação em posição fixa em locais remotos, para coleta automática em tempos programados. As amostras vão sendo armazenadas em diversas garrafas. A bandeja suporta 72 frascos (Figura 4.24). Existe uma versão mais recente, o amostrador PS-82 para conter somente 24 frascos.

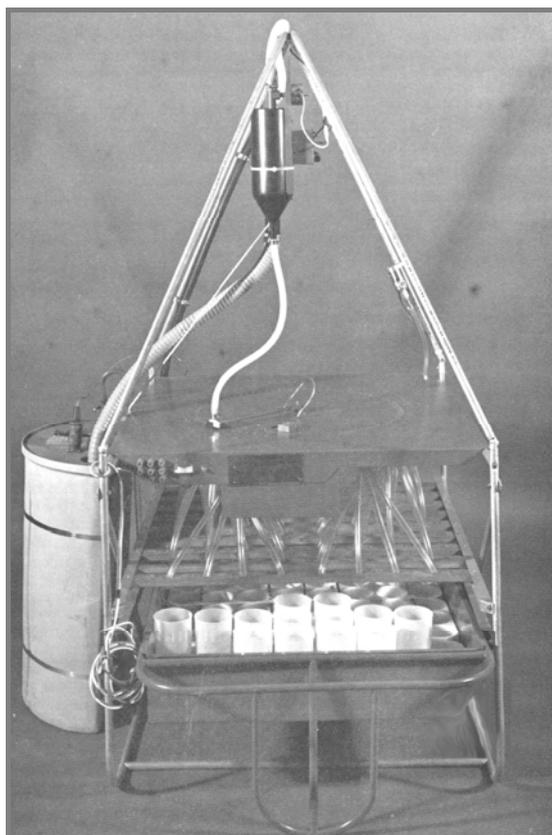


Figura 4.24 – Amostrador de bombeamento PS-69 - instalação fixa (Subcommittee on Sedimentation, 1986).

Diversos equipamentos de medição direta da concentração em um ponto foram construídos por WL Delft Hydraulics, em Delft, Holanda. Podem-se citar o OSLIM e o FOSLIM, que são medidores da concentração de sedimento em suspensão por sistema ótico. Também o OPCON, que mede a concentração e a granulometria do sedimento em sistema ótico. O UHCM mede a concentração utilizando sistema ultra-sônico. O CCM/CM mede a concentração de areias pela variação da condutividade da água (Figura 4.25). O Siltômetro 1995 mede a concentração com o princípio da turbidez. O 2-D USTM mede a concentração de areias com o sistema ultra-sônico.

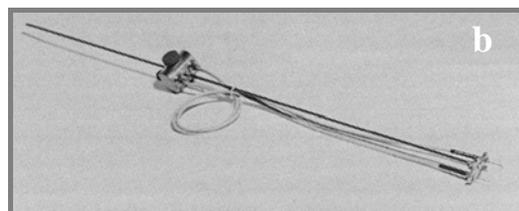
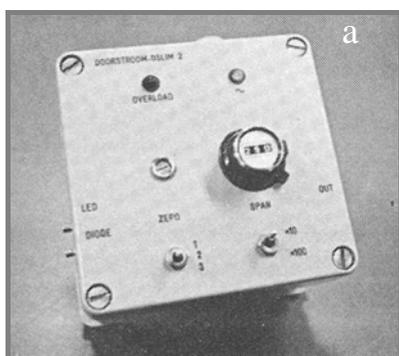


Figura 4.25 – Medidores pontuais da concentração de sedimentos denominados OSLIM(a) e FOSLIM(b) (WL Delft Hydraulics, 1999).

O Laboratório de Delft construiu dois equipamentos para medida direta da concentração utilizando o sistema ultra-sônico: o UDS de uma dimensão que pode ser montado numa peça de apoio no leito, e o UDS de duas dimensões.

O ADCP, equipamento já adquirido por muitas entidades do país, pode medir a concentração de sedimentos, registrando os valores ao longo da seção e da vertical (Figura 4.26). Precisa de calibragem, o que pode ser feito com amostragens pontuais. Existem programas disponíveis para essa calibragem.



Figura 4.26 – O ADCP (300 KHz) em operação na Amazônia (Projeto Hibam).

4.2.7 Novos equipamentos para sedimentos do leito

A medição direta da carga de arrasto é feita com equipamento apoiado no leito. Como o equipamento é um empecilho para o escoamento regular nessa posição, há uma modificação na direção das correntes provocando mudança nas condições e também na descarga sólida. Assim os novos equipamentos procuram melhorar a eficiência de amostragem por reduzir seu volume e facilitar o escoamento.

O Helley-Smith é um dos medidores mais utilizados atualmente. O BL-84, Modelo 8030, da série norte-americana, pesa 30kg. Foi construído com peças mais apropriadas para apresentar boa eficiência.

Existe uma versão para medição a vau da série norte-americana denominada BLM-84, Modelos 8010 e 8015, conforme mostra a Figura 4.27. O equipamento consiste de peças conjugadas fabricadas em chapa de alumínio, sendo a da frente um paralelepípedo de 3"x3" soldado a um tronco de pirâmide com razão de expansão de 1,4; na parte posterior deste é ajustada uma saca fabricada com tela de malha #270 que retém o sedimento grosso. É operado com haste que fica ajustada no topo.

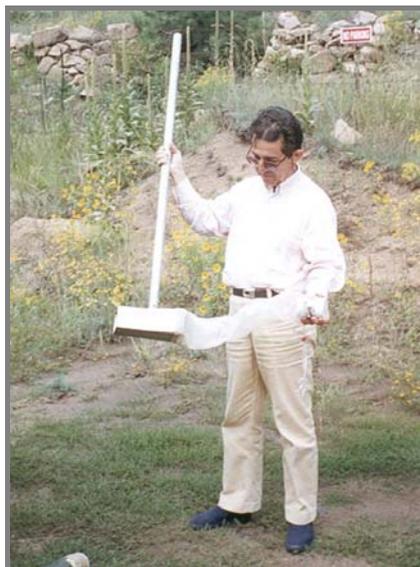


Figura 4.27 – Amostrador BLM-84 para medição a vau de carga sólida do leito (Rickly Hydrological, 1999).

4.2.8 Novos equipamentos de laboratório

Os equipamentos tradicionais de laboratório para determinação da concentração usam métodos de filtração e de evaporação. Para determinação da granulometria de areias é utilizado o peneiramento e o tubo de acumulação visual; para os finos usa-se pipetagem ou o tubo de retirada pelo fundo (ver item 4.3).

Existem equipamentos para laboratório, e que já são de uso corrente no país, como o turbidímetro para análise de concentração e o equipamento ultra-sônico para análise granulométrica. Esses equipamentos constam dos manuais do Subcomitê em Sedimentação, mas não são utilizados nos serviços regulares de Sedimentometria.

Equipamentos de laboratório com uso de técnica de raio laser permitem análises de granulometria e de concentração em pequenas amostras contendo pouco sedimento. São operados por computador. O Mastersizer, um equipamento fabricado pela Malvern Instruments, efetua análise granulométrica com partículas desde $0,02\mu\text{m}$ a $2.000\mu\text{m}$ (Figura 4.28).



Figura 4.28 – O Mastersizer, que permite análise granulométrica de sedimento com pequena quantidade de amostra.

4.2.9 Cuidados com as amostras no campo

Em um ambiente aquático, as substâncias orgânicas e inorgânicas encontram-se sob diversas formas: livres ou complexadas, dissolvidas, em suspensão, adsorvidas à matéria em suspensão e à biomassa ou ainda associadas ao material de fundo. Nesse processo, a amostragem de sedimentos em suspensão é, geralmente, parte de um contexto, e por isso, em um levantamento a mesma amostra de água pode servir a vários propósitos. Sendo assim, deve-se buscar um procedimento adequado de tratamento e/ou filtração, de forma a possibilitar extrair-se o máximo da amostra recolhida. Para que isso seja possível alguns cuidados devem ser tomados, seja com relação aos recipientes a serem utilizados, ao modo de estocagem do material coletado e, ser for o caso, à forma de remetência do material a ser analisado. No entanto, recomenda-se que, sempre que possível, a filtração seja realizada *in situ*, ou seja, quando houver disponibilidade de pessoal devidamente treinado e equipamento adequado.

Para os trabalhos *in situ*, quando o objetivo é a determinação da concentração do material em suspensão, o filtro e o equipamento de filtração devem ter passado por um pré-tratamento em laboratório. Como a literatura científica entende por fase dissolvida todo o material que passa através de uma membrana filtrante de $0,45\mu\text{m}$ (GEMS/Water, 1994), tem sido adotado esse valor de malha como o mínimo a ser utilizado em campo para a filtração cuja finalidade é obter a concentração do material em suspensão (um filtro com porosidade um pouco maior pode ser utilizado se o sedimento de um determinado curso d'água colmatar com facilidade o de menor porosidade). Recomenda-se, ainda, que o material do filtro seja do tipo inerte, como, por exemplo, acetato de celulose, podendo variar (teflon, fibra de vidro, etc.) de acordo com o tipo de análise subsequente que se deseje realizar na fase dissolvida. As unidades de filtração devem ir para campo limpas com água filtrada e desmineralizada e com essa água também devem ser lavadas após cada filtração.

Sugere-se a seguir uma rotina de trabalho a ser adotada para o caso de filtração *in situ* visando quantificar o material em suspensão:

No laboratório, antes da partida para o campo:

1. Separar e lavar as unidades de filtração³ (preferencialmente de PVC) que serão utilizadas com água filtrada e desmineralizada;
2. Separar o número de filtros que se pretende utilizar no levantamento de campo, mínimo de 0,45µm de malha da membrana;
3. Pesquisar os filtros em balança de precisão (mínimo dois algarismos significativos) e acondicioná-los em recipientes individuais, tipo “placa de petri”, de preferência de PVC;
4. Etiquetar os recipientes dos filtros e anotar o peso obtido no passo anterior e;
5. Montar um “kit” com o conjunto de filtros a serem levados para o campo.

No campo, após a amostragem:

1. A unidade de filtração deve ser preparada com o filtro correspondente e com os dados do posto devidamente anotados na etiqueta do filtro;
2. Para um levantamento realizado segundo o método de integração, as diferentes amostras, de cada vertical, devem ser recolhidas em garrafas individuais de PVC e ao final do levantamento devem ser homogeneizadas em um único recipiente, sendo que um mínimo de 1 litro deve, então, ser filtrado para cada seção de rio levantada;
3. Antes da filtração a amostra deve ser agitada, no mínimo 10 vezes, para ressuspender o material que porventura já tenha se depositado no fundo do recipiente;
4. Se por acaso algum material se depositar nas paredes da unidade de filtração, deve ser retirado com o auxílio de um pissete contendo água filtrada e desmineralizada;
5. No trato com a membrana filtrante deve se optar por utilizar uma pinça de PVC tanto para a colocação do filtro na unidade quanto para a sua retirada, após a filtração;
6. Ao final de cada filtração retirar a membrana filtrante e recolocá-la na respectiva “placa de petri”, sempre lembrando de fazer as anotações necessárias;
7. Caso a amostra de água contenha grande quantidade de material em suspensão de tal forma que não permita que sejam filtrados 1.000ml, devido à colmatação da membrana, deve-se anotar na etiqueta do respectivo filtro o volume de amostra efetivamente filtrado;
8. Após cada filtração, lavar a unidade de filtração com água filtrada e desmineralizada, e;
9. Acondicionar as “placas de petri” em recipiente seguro e adequado.

No laboratório, após o levantamento de campo:

1. As membranas devem ser secas em estufa a uma temperatura entre 100-110°C durante uma hora, após o que devem ser pesadas no mesmo tipo de balança em que foram pesadas antes da etapa de campo e;
2. Os valores de peso obtidos da etapa anterior devem ser anotados e o peso inicial deve ser subtraído. Assim se terá a concentração de material em suspensão para o

³ Existem diversos modelos de unidades plásticas de filtração no mercado. Sugere-se as unidades de duas câmaras sobrepostas com o filtro instalado entre elas. Seguindo esse modelo, a câmara inferior deve possuir uma abertura por onde se possa, com o auxílio de bomba manual ou elétrica, retirar o ar, auxiliando o processo de filtração sem danificar a membrana filtrante.

respectivo volume de amostra que foi efetivamente filtrado, devendo-se fazer o ajuste para 1000ml, a fim de obter-se a concentração em mg.l^{-1} .

Para o caso onde se adote um procedimento de coleta das amostras em campo e homogeneização e tratamento (filtração ou outro método) em laboratório, sugere-se:

1. Após a amostragem por integração em campo, acondicionar as amostras em ambiente refrigerado (recipiente com gelo) ou refrigerador (se disponível), tomando o cuidado de evitar o congelamento;
2. Remeter as garrafas, com as amostras de água, para o laboratório, se possível, ao abrigo da luz. Dessa forma a mesma amostra poderá ter outros usos que não só para material em suspensão;
3. Não seja colocada nenhuma substância do tipo conservante, algicida, etc.;
4. As amostras sejam remetidas o quanto antes para o laboratório e;
5. Devem ser evitados procedimentos intermediários entre o campo e o tratamento em laboratório, como por exemplo, filtração alguns dias após o levantamento e remessa apenas do filtro para o laboratório para secagem e pesagem.

4.3 As análises de laboratório

Nesta etapa as amostras coletadas são recebidas da equipe de operação e checadas quanto às condições de transporte, armazenagem e identificação. Nesse processo as amostras são pesadas assim que chegam ao laboratório para efeito de checagem quando forem repesadas, posto que podem ser armazenadas antes do processamento e haver perda de água por evaporação. Posteriormente as amostras seguem para o processamento propriamente dito e são processadas de acordo com sua tipologia:

i) Amostra de sedimento do leito; seguem para a determinação da granulometria, onde vários procedimentos podem ser utilizados: peneiramento, tubo de acumulação visual, tubo de retirada pela base, pipetagem ou densímetro;

ii) Amostra de material em suspensão (MES), seguem para a determinação da concentração de MES, seja por filtração ou por evaporação e também seguem para a determinação da granulometria de MES, que pode ser feita através do tubo de retirada pela base, pipetagem ou pelo densímetro.

Existem métodos mais modernos que se utilizam de tecnologias de raios X e Laser, reduzindo consideravelmente o tempo de processamento e melhorando muito os resultados da granulometria. No entanto tais métodos ainda são pouco utilizados no Brasil devido ao seu alto custo.

Ao final dessa etapa devem ser geradas pela equipe de laboratório planilhas, organizadas por amostra contendo informações sobre as análises e os resultados ou dados brutos, tanto de concentração de MES quanto de granulometria de MES e do material do leito

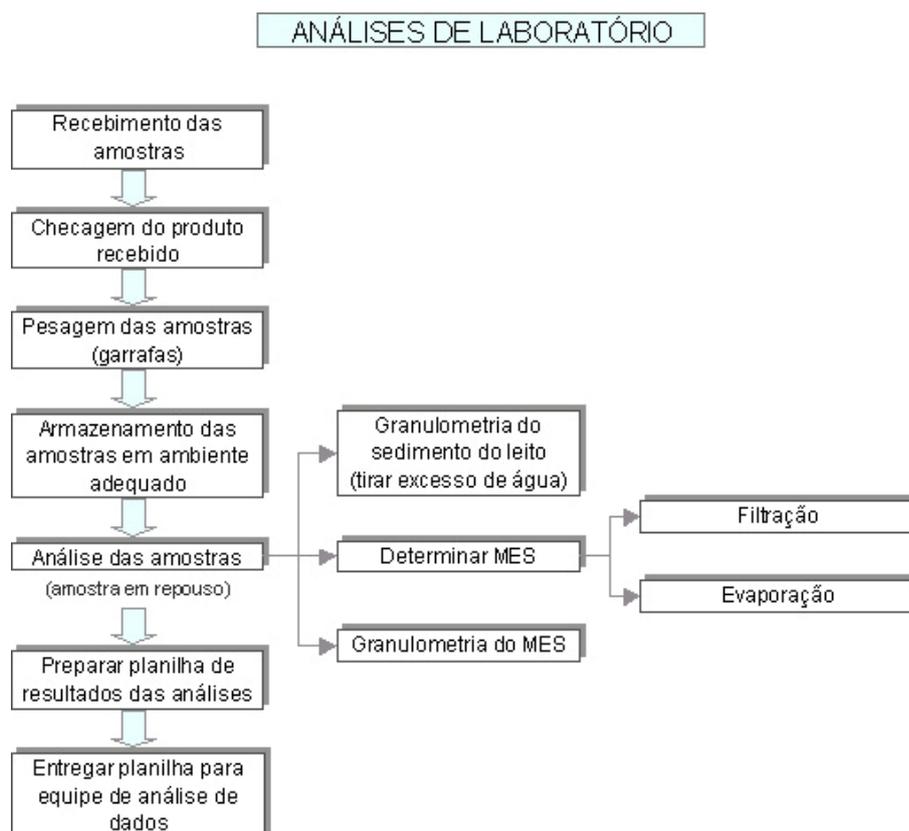


Figura 4.29 - Etapas de laboratório.

4.3.1 Recebimento de amostras e manuseio

O laboratorista deve receber as amostras diretamente do hidrometrista responsável pelas medições, conferindo todo o material a partir da etiquetagem das garrafas e recipientes ou das listas apropriadas preenchidas no campo. Deve verificar se todas as garrafas de amostragem, ou recipientes de plástico ou sacas, amostras em geral, estão adequadamente etiquetadas e bem acondicionadas, sem problemas de derramamento de água ou perda de sedimento, para o caso de amostra do leite.

As garrafas com mistura água-sedimento devem ser logo pesadas e anotados os valores nos formulários apropriados. Isso é necessário devido à possibilidade de a amostra perder água por evaporação, o que diminui o volume.

As análises deverão ser feitas no menor tempo possível, para evitar mudanças de características das amostras, como também para liberar as garrafas para as próximas medições. Essas mudanças podem ser ocasionadas por matéria orgânica, poluentes, nutrientes ou mesmo íons. Com o tempo, pode haver reações, formação de algas ou mesmo as partículas finas com cargas contrárias se juntarem formando flóculos. De qualquer forma, constantemente há junção de partículas, o que prejudica a análise de granulometria. Nesse caso o processo de análise sempre utiliza um defloculante.

As amostras de material em suspensão deverão ser estocadas em ambiente adequado, de temperatura amena, sem incidência direta da luz solar.

As amostras de sedimento do leito devem ser mantidas úmidas para não formarem torrões. Próximo da ocasião da análise deverão ser colocadas para secar ao sol, com os devidos cuidados, com um operador misturando as partículas para não haver perdas e também haver melhor evaporação, o que diminuirá o trabalho da estufa e facilitará o manuseio para retirada de detritos ou colocação na bandeja.

Indispensável dizer que os trabalhos de laboratório devem ser realizados por laboratoristas devidamente preparados, uma vez que exigem cuidados e manuseio de equipamentos próprios. Análise de sedimento é diferente de análise de material diluído na água, como sais solúveis, devido às diferenças de tamanho, de peso e de densidade existente entre as partículas.

Toda a amostra em suspensão que chega ao laboratório tem que ser analisada, não se devendo fazer, por exemplo, uma amostra do total para determinar a concentração, pela dificuldade de homogeneização da amostra de água-sedimento. Uma suposta homogeneização da mistura não fica completa, porque as partículas pesadas vão logo se depositando no instante seguinte.

4.3.2 Tipos e métodos de análises

Normalmente se faz análise de concentração da amostra em suspensão, da mistura água-sedimento. Quando necessário, também se faz a análise da granulometria do sedimento em suspensão, o que deve ser especificado pela coordenação dos trabalhos de acordo com os métodos de cálculo de descarga sólida a serem efetuados. Uma outra análise, às vezes necessária, é a de sólidos solúveis, que é feita quando se determina a concentração pelo processo de evaporação ou quando o valor deve ser utilizado em certos estudos.

A análise a ser feita para material do leito limita-se apenas à granulometria. Quando tratar-se de medição direta da descarga de arrasto com equipamento apoiado no leito, então deve ser especificada a determinação do peso seco de todo o material e a granulometria.

Utilizam-se os dados de concentração em todos os cálculos de descarga sólida em suspensão. Quando é necessário o conhecimento da descarga sólida por faixas granulométricas, então faz-se a análise granulométrica correspondente. No cálculo da descarga sólida total pelo método modificado de Einstein essa análise de granulometria, tanto do sedimento em suspensão quanto do leito, é indispensável.

Utilizam-se os dados de granulometria do material do leito nos cálculos da descarga de arrasto e descarga de material do leito, com uso das fórmulas tradicionais, e também nos métodos de obtenção da descarga sólida total.

Tanto a concentração quanto a granulometria do material em suspensão e do leito são também muito úteis em outros estudos de engenharia e de meio ambiente. Para a avaliação do peso específico aparente dos depósitos em um reservatório é necessário se ter a granulometria dos dados históricos tanto do sedimento em suspensão quanto do leito. Chega-se à conclusão que seria mesmo conveniente determinar sempre a granulometria do material em suspensão e do leito.

Os métodos de análises estão listados na Tabela 4.5.

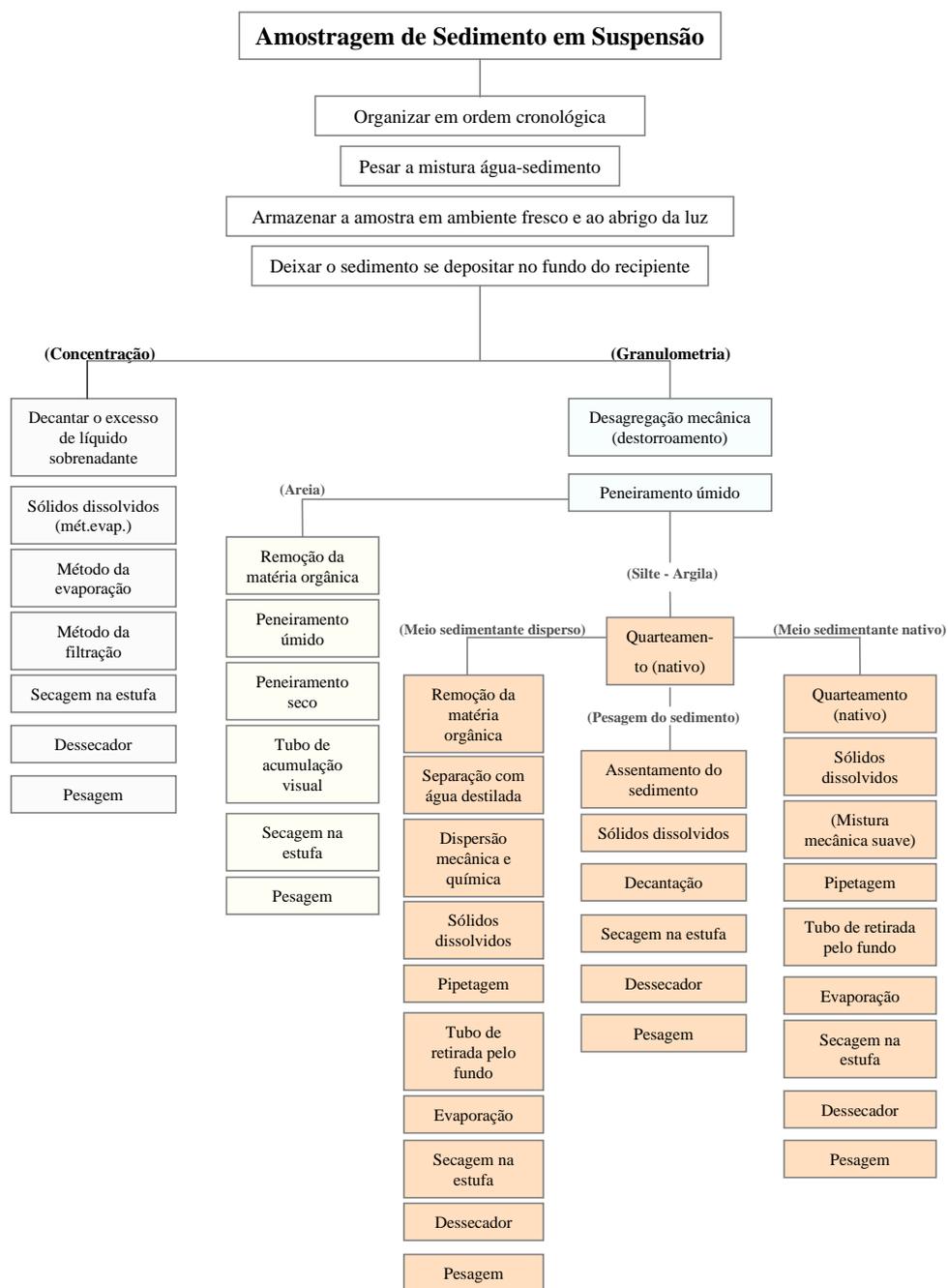
Segundo Guy, (1969) as análises da amostra água+sedimento e do material do leito devem ser efetuadas segundo os diagramas apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.7.

O material do leito coletado ao longo da seção transversal pode apresentar uma diversidade de granulometria grande, desde material grosso como pedregulho e areia, até material fino como silte e argila. Nesse caso uma análise desse material exigirá métodos diferentes para sua completa definição - o material grosso seria analisado por peneiramento, enquanto o fino seria analisado com uso do densímetro, de pipetas ou mesmo com o tubo de retirada pelo fundo.

Tabela 4.5 – Métodos de análise comumente utilizados.

| | | |
|-------------------------|-------------------------------|---|
| Sedimentos em suspensão | Análise de concentração total | Filtração Evaporação Tubo de retirada pelo fundo |
| | Análise granulométrica | Tubo de retirada pelo fundo Pipetagem Densímetro |
| Sedimentos do leito | Análise granulométrica | Peneiramento Densímetro Pipetagem Tubo de acumulação visual Tubo de retirada pelo fundo |

Tabela 4.6 – Diagrama com a seqüência de operação de análises de material em suspensão (Guy, 1969)



Explicação - Diagrama de fluxo dos ensaios para análise de concentração e granulometria de amostras de sedimento em suspensão. Divisões e blocos podem ser trocados ou outros adicionados quando necessário dependendo das quantidades, das condições e da gradação da granulometria da amostra e os objetivos para uso dos dados. Se a análise não é feita com a água nativa., então pode ser usada água destilada para peneiramento úmido e separar nos blocos denominados "Desagregação mecânica". Os blocos divididos por linhas horizontais mostram procedimentos alternativos.

Tabela 4.8 – Volumes mínimos de amostras necessários para análise de concentração média de sedimentos em suspensão (WMO, 1981)

| Concentração esperada de sedimento em suspensão | Volume da amostra |
|---|-------------------|
| (g/m ³ , mg/l, ppm) | (l) |
| > 100 | 1 |
| 50 a 100 | 2 |
| 20 a 30 | 5 |
| < 20 | 10 |

O volume de amostra necessário para que seja feita a análise de granulometria do sedimento em suspensão vai ser função dos métodos disponíveis no laboratório. Normalmente o volume a ser coletado quando está programada essa análise é muito maior do que aquele necessário para a concentração. Os métodos usuais e disponíveis aqui no país são o do tubo de retirada pelo fundo, o da pipetagem, o tubo de acumulação visual e o de peneiramento. Os dois primeiros são utilizados para sedimentos finos (silte e argila) e os dois últimos para areias, tendo cada um deles necessidade de quantidade mínima de sedimento para uma boa análise. Na Tabela 4.9 são apresentados valores mínimos necessários em relação a peso de sedimento, enquanto na Figura 4.30 é apresentada a quantidade mínima de garrafas com volume de 400ml exigidas para análise adequada de granulometria de sedimento. Adiante, no item de *análises*, serão fornecidas outras referências.

Tabela 4.9 – Quantidade desejada de sedimento em suspensão necessária para os diversos tipos de análise granulométrica (Edwards/Glysson, 1988)

| Tipo de equipamento de análise | | Limites de granulometria | Quantidade mínima de sedimento desejável |
|--------------------------------|---------|--------------------------|--|
| | | (mm) | (g) |
| Peneira | Fina | 0,062 – 0,5 | 0,07 |
| | Média | 0,25 – 2,0 | 0,5 |
| | Grossa | 1,0 – 16,0 | 20 |
| Tubo de acumulação visual | O menor | 0,062 – 0,5 | 0,05 |
| | O maior | 0,062 – 2,0 | 5 |
| Pipeta | | 0,002 – 0,062 | 0,8 |
| Tubo de retirada pelo fundo | | 0,002 – 0,062 | 0,5 |

Fica difícil para o hidrometrista saber dessas quantidades no campo. Melhor julgamento pode ser feito a partir do volume, conforme apresentado no gráfico de Porterfield, Figura 4.30 (Guy/Norman, 1970 e Edwards/Glysson, 1988), que mostra o número de garrafas com 400ml a serem coletadas para análise de pipetagem, obtidas a partir da interseção das linhas de concentração em função da porcentagem de partículas mais finas que 0,062mm.

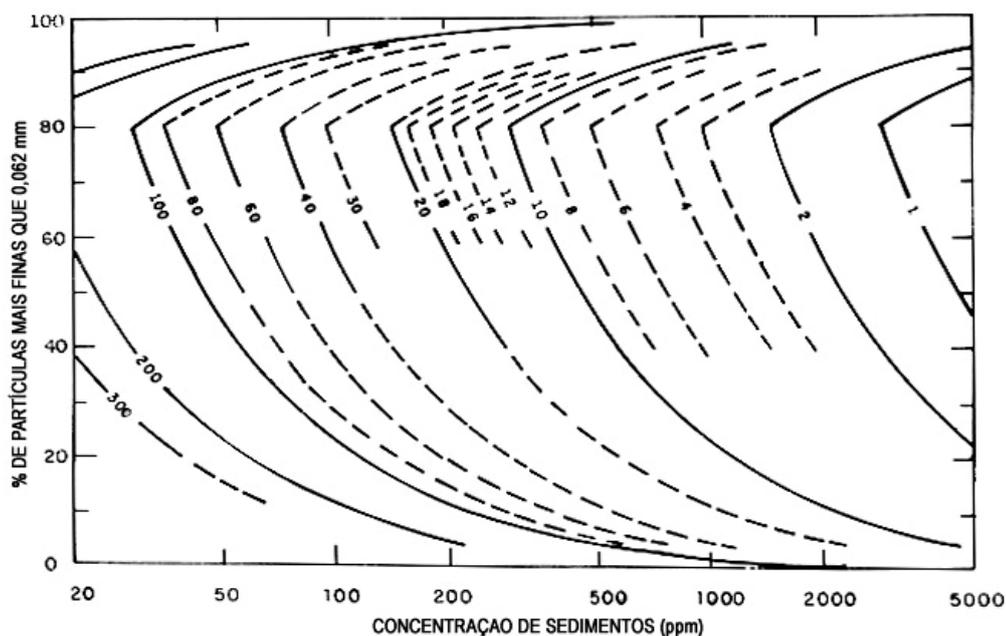


Figura 4.30 –Número mínimo de garrafas de amostra para permitir quantidade suficiente em análise granulométrica por pipetagem. Os dados são baseados em 350g de amostra por garrafa; um mínimo de 0,2g de areia é necessário para análise de peneiramento ou tubo de remoção visual, e 0,8g de silte e argila para análise por pipetagem em 400ml em suspensão. Para análise com o tubo de remoção pela base, o número de garrafas necessárias, para menos que 80% de sedimentos mais finos, é 5/8 do número indicado no gráfico.

De acordo com o gráfico e informação inclusa, por exemplo, se a amostra tiver 100ppm com 80% de sedimento mais fino que 0,062mm, então é necessário a coleta de 30 garrafas contendo 400ml, ou seja, 12l para fazer a análise com a pipeta e 7,5l para fazer a análise com o tubo de remoção pelo fundo.

Também fica difícil conhecer antecipadamente a granulometria, o que requer uma certa experiência de campo e também o conhecimento dos resultados das análises em função do visual que a coloração da água tem, sendo a tabela uma indicação cujo uso vai depender dos resultados do laboratório e do entrosamento entre as equipes.

De acordo com Eduards/Glysson (1988), embora seja possível realizar as análises de granulometria de tal forma a obter também a concentração, seria melhor obter amostras separadas para as duas análises.

4.3.4 Limitações nos métodos de análises

Os diversos métodos de análises, bem como os equipamentos para sua realização, têm suas limitações. A confiança e a precisão na análise de laboratório estão diretamente relacionadas aos cálculos da descarga sólida. As amostras coletadas devem chegar ao laboratório em quantidades suficientes para permitir análises adequadas tanto para determinação da concentração como para granulometria.

As análises de concentração de amostras com pequenas quantidades de material em suspensão, ou seja, até 200mg/l, é feita pelo método de filtração. Caso a quantidade amostrada seja maior, convém fazer a análise por evaporação para evitar grande colmatação do filtro. No caso, até que se poderia usar mais que um filtro e somar as

quantidades residuais de sedimento. Embora utilizada, não é recomendada a redução da amostra por bipartição porque pode provocar erros. Se o sedimento contido na amostra é arenoso, então o método de filtração pode ser utilizado em maiores concentrações.

A determinação da granulometria do sedimento em suspensão e a do leito são feitas por métodos distintos, principalmente devido à quantidade de sedimento disponível em cada um dos tipos de amostra e aos tamanhos das partículas. O sedimento contido numa amostra em suspensão é de pequena quantidade e de granulometria fina na maior parte, como argila e silte, enquanto que a quantidade em amostras do leito é grande e de granulometria grossa, como areias. Por outro lado, o sedimento na amostra em suspensão vem com uma grande quantidade de água, enquanto que as amostras de fundo são somente úmidas.

O hidrometrista deve ser instruído para coletar amostra em quantidade suficiente para permitir as diversas análises. Os critérios de amostragem levam em conta a largura da seção e a profundidade do curso d'água, coletando-se em 10 a 20 verticais. No entanto, o critério visual da quantidade de sedimento deveria ser levado em conta e, às vezes, prevalecer. Assim é que deverá haver um entendimento constante entre as equipes de campo e de laboratório para garantir essas quantidades adequadas de amostras para análise (Carvalho, 1994).

No método de peneiramento, a menor quantidade de sedimento necessária para análise é 0,05g, feita com pequenas peneiras. Material mais fino que 0,0625mm passará pela peneira da malha mais fina (# 200 ou 230), e a granulometria deverá ser determinada por outro método. Esta última análise desse material mais fino só se justifica caso a quantidade seja igual ou maior que certa porcentagem, como 3 a 5%, para atender a restrições de alguns métodos de cálculo da descarga sólida.

Segundo Guy, (1969) a limitação dos diversos métodos de análise granulométrica para amostras de material em suspensão é aquela apresentada na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Limitações de análise granulométrica para os métodos mais usuais (Guy, 1969 e USDA, 1978).

| Método | Limites de granulometria | Limites de concentração | Quantidade de sedimento |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | (mm) | (mg/l) | (g) |
| Peneiras | 0,062 - 32 | ---- | 0,05 *** |
| Tubo de acumulação visual | 0,062 - 2,0 | ---- | 0,05 - 15,0 |
| Densímetro | 0,002 - 0,062 | 40.000 - 50.000 | 0,04 - 0,05 |
| Pipeta | 0,002 - 0,062 | 3.000 - 10.000 | 1,0 - 5,0 |
| Tubo de retirada pelo fundo * | 0,002 - 1,0 | 300 - 10.000 | 0,5 - 1,8 |

* Se necessário, pode ser aumentado para incluir areias até 0,35mm, sendo que a precisão decresce com o aumento do tamanho da partícula. Isso exige concentração e quantidade, que pode aumentar apropriadamente.

** Os limites acima são apresentados de forma um pouco diferente por outros autores.

*** Para material do leito utiliza-se maior quantidade: > 0,5kg.

Nas amostras com concentração inferior às demonstradas na tabela 4.10 parte da água limpa é retirada após repouso da amostra para que não sejam carregados sedimentos, com isso, a concentração aumenta, possibilitando a análise.

Para material de leito, quando se usa a série de peneiras Tyler do tamanho usual é necessário ter pelo menos 0,5kg de sedimento, sendo que as subamostras coletadas deverão ter uma soma de 2kg ou um pouco mais, para permitir o quarteamento adequado e a composição da amostra final a ser peneirada. Quando o sedimento arenoso tem pequena quantidade, pode-se utilizar o método de análise do tubo de acumulação visual. O sedimento fino, que passa pela peneira mais fina, deverá ter uma quantidade mínima de 0,05kg para análise pelo processo do densímetro. Só vale a pena fazer a análise se 5% ou mais do material for menor que 0,062mm. Caso esse material fino tenha menor quantidade que 0,05kg, então poderá ser analisado pelo processo de pipetagem ou pelo tubo de retirada pela base, cujas quantidades adequadas estão indicadas na Tabela 4.10.

Conclui-se que os métodos de peneiramento e do tubo de acumulação visual são utilizados para análise de material grosso e os de uso do densímetro, pipeta e tubo de retirada pelo fundo são apropriados para material fino. Nos itens a seguir serão apresentados os métodos sem entrar na questão da análise em si, podendo o roteiro ser obtido da bibliografia.

4.3.5 Análises de concentração – filtração e evaporação

As análises de concentração são realizadas pelos métodos de filtração ou de evaporação. O método de filtração é utilizado quando a amostra tem baixa concentração, menor que 200ppm, enquanto no de evaporação a amostra tem maiores concentrações. Isso também pode ser em função da quantidade de amostra obtida, uma vez que numa grande amostra, mesmo de baixa concentração, a grande quantidade de partículas pode colmatar o filtro.

A determinação da concentração com o tubo de retirada pelo fundo é um processo que conduz a evaporação da água para obtenção do resíduo de sedimento. A concentração é obtida pela divisão do peso total de sedimento pelo volume ou peso total da mistura água+sedimento. Esses valores são geralmente registrados na planilha adequada da análise.

A concentração é determinada pelo peso seco do sedimento em suspensão contido na amostra em relação ao volume total dela mesma ou ao seu peso total.

$$C_s = \frac{P}{V} \quad \text{ou} \quad C_s = \frac{P}{P}$$

sendo

- p - peso seco do sedimento
- V - volume da mistura água-sedimento
- P - peso da mistura água-sedimento

Quando definida em relação ao peso pelo volume usam-se as unidades mg/l para concentrações baixas, até 100mg/l, ou até 1.000mg/l quando não se espera ou não são comuns valores maiores. Daí para valores mais altos pode-se utilizar g/l ou kg/m³. Raramente encontra-se expresso em %, sendo 1% = 100mg/l. Os dados são apresentados com três dígitos no mínimo (1,25mg/l, 15,5mg/l etc.).

Quando definida pelo peso de sedimento em relação ao peso total usa-se ppm, partes por milhão, que corresponde à transformação do quilo do peso total em miligrama

(1kg = 1.000.000mg) ficando a medida sem unidade. Como a densidade da mistura aumenta com a concentração, o valor por peso não é igual à concentração por volume. Na prática, a densidade só chega a alterar sensivelmente a medida pelas unidades utilizadas após 16.000ppm, o que torna os valores comuns equivalentes (Guy,1969; Carvalho,1994; USDA,1978).

O processo da análise da concentração exige certos procedimentos que utilizam toda a amostra procedente do campo. É incorreto colocar toda a mistura num recipiente, homogeneizar por qualquer processo e depois apanhar somente 100ml para proceder a análise de concentração. O que acontece é a perda da precisão porque o material não é homogêneo, ocasionando estratificação das partículas imediatamente após o processo da suposta homogeneização, além do peso do sedimento poder atingir a faixa de erro de medida, mascarando o resultado. É necessário ao laboratório uma quantidade de mistura tal que permita uma análise com a precisão desejada. Então, o procedimento de análise exige uma seqüência que começa pelo recebimento da amostra e pesagem para garantia do conhecimento do peso da amostra recebida, conforme exposto antes. Quando chega a ocasião da análise, as diversas subamostras são devidamente colocadas em um só recipiente para permitir um só exame. Essa colocação exige a retirada de todas as partículas dos recipientes que tiverem vindo do campo. Convém lembrar que esse procedimento é correto quando a amostragem no campo tiver sido efetuada por um dos processos de IIL e IID. A amostra total é colocada em repouso por 24 horas e, em seguida, é feita a retirada do excesso de líquido isento de sedimento. Desse excesso se retiram três porções com pipetagens de 50ml cada para determinação de sólidos dissolvidos pelo método de evaporação, se for o caso. Os passos seguintes consistem em obter a concentração pelo método de evaporação ou de filtração, secar na estufa, levar a um dessecador e fazer a pesagem (ver diagramas de seqüência de análises antes apresentados na Tabela 4.6).

Caso a água sobrenadante limpa resultante do processo de repouso da amostra e decantação do sedimento apresente pequena coloração, convém passá-la por um filtro de baixa porosidade para retenção desse sedimento. Nesse caso é conveniente determinar o peso do resíduo para que seja computado na concentração.

A seguir algumas indicações úteis sobre as análises. Para melhores esclarecimentos e a descrição detalhada de cada análise é necessário consultar a bibliografia especializada antes indicada.

O material que é levado a uma estufa nunca deve ser submetido a temperaturas maiores que 110°C devido à presença de substâncias minerais que podem queimar e sofrer transformações, reduzindo o peso em maiores temperaturas e falseando o valor da concentração ou da granulometria. Por questão de segurança, convém manter a temperatura da estufa a 105°C.

a) Método de filtração

Pode ser utilizado em laboratório o mesmo procedimento para filtração “in situ” já citado (Figura 4.31), guardando-se o fato de que existem unidades de filtração exclusivas para uso em laboratório.

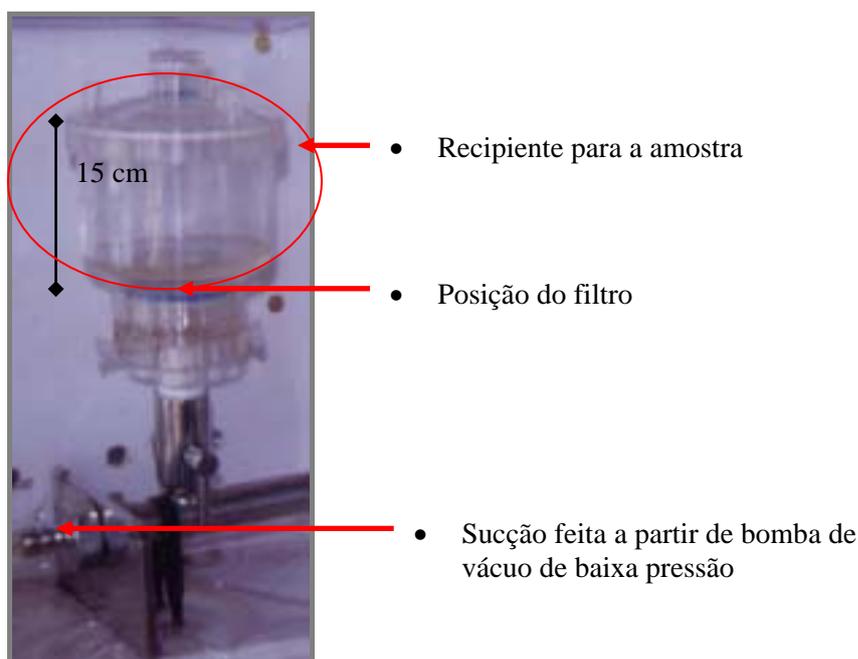


Figura 4.31 – Indicação de elementos principais de uma unidade de filtração PVC componente de uma rampa de filtração em aço inox.

As amostras das várias verticais de uma mesma seção são homogeneizadas no laboratório ou no campo, de forma a obter-se uma única amostra, denominada composta (USGS-Guy & Norman, 1976 e Carvalho, 1994). Numa etapa seguinte, a solução água+sedimento é separada passando-a através de um papel de filtro, pré-pesado (Pi), de malha conhecida. A recomendação internacional é a utilização de filtros com malha de no mínimo 0,45 μm . (Meade, 1985; GEMS/WATER, 1994) em material inerte (acetato de celulose, por exemplo).

Após a filtração de um volume conhecido de amostra, os filtros são secados em estufa, a 100 - 110°C por até uma hora, sendo em seguida pesados novamente (Pf). A diferença entre Pi e Pf é a concentração do MES, que para um volume conhecido de amostra (identificado nas garrafas) é então obtida em mg/l.

Nos dois procedimentos pode-se acoplar o conjunto filtrante num quitassato provido de pequena bomba de vácuo. Não se deve usar compressor na superfície líquida para acelerar a filtração porque o filtro terá a porosidade aumentada, o que deixará passar os finos.

b) Método de evaporação

Nesse método usa-se também reduzir a amostra pelo repouso da mistura por 24 horas e depois retirar o excesso de líquido isento de sedimento. Importante e necessária a determinação da quantidade de sais solúveis, o que é feito pela retirada de três pipetagens de 50ml da parte isenta de sedimento (água sobrenadante após 24 horas de repouso) para secagem em estufa e obtenção do valor médio. Caso essas porções tenham coloração amarelada deve-se à presença de colóides ou argila fina, devendo ser passadas por um filtro de pequena porosidade. Se a água estiver com coloração após o repouso de um ou dois dias, convém que a retirada do excesso seja feita em banho-maria.

A amostra água-sedimento agora reduzida na sua quantidade de água é, então, colocada em recipiente adequado à evaporação e levada à estufa para secagem. Depois de alguns instantes ou horas, quando o sedimento estiver visualmente seco, deixa-se por mais duas horas na estufa, remove-se, então, para o dessecador e depois pesagem (ver diagrama da Tabela 4.6).

4.3.6 Análises granulométricas de material em suspensão e do leito

Análise granulométrica de material em suspensão é feita comumente com o tubo de retirada pelo fundo. Quando a concentração permite, no caso de maior quantidade de material e se faz o processo de repouso por 24 horas, então pode-se fazer a análise pelo processo de pipetagem ou ainda, com maior quantidade de sedimento, pelo processo do densímetro. Deve sempre ser respeitada a quantidade mínima de sedimento necessário para o processo utilizado, o que, nesse caso, dificilmente se poderia fazer a análise pelo processo do densímetro.

Para a escolha do método de análise, se com o tubo de retirada pelo fundo ou pipetagem, deve-se retirar com pipeta um volume de 25ml da amostra composta já reduzida da água limpa e determinar a concentração, comparando com os valores de restrição de cada análise, permitindo a escolha do método. Pode-se usar a tabela abaixo.

A seqüência de operação e os cuidados necessários são os seguintes (CSQA, 1999):

- Passar a amostra por peneiras adequadas para determinar a granulometria do material arenoso (> 0,062mm);
- Reduzir a amostra total até 1,0l, colocando na proveta; daí homogeneizar e fazer uma pipetagem de 25ml e determinar essa concentração;
- Caso apresente entre 300 a 5.000ppm, deve-se fazer a análise de granulometria pelo tubo de retirada pelo fundo;
- Se apresentar entre 3.000 a 10.000ppm, deve-se fazer a análise de granulometria por pipetagem, ficando aí uma faixa que permite ao laboratorista escolher o método;
- Se apresentar baixa concentração, não se faz análise granulométrica;

Tabela 4.11 - Escolha do método de análise (limites para métodos de análise granulométrica).

| Material | Tipo de análise | Faixa de tamanho (mm) | Concentração (mg/l) | Quantidade de sedimento (g) |
|---|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| Areia | Peneiramento úmido | 0,0625 - 32,0 | - | <0,05 |
| | V.A. | 0,0625 - 2,0 | - | 0,05 - 15,0 |
| Argila e Silte | Pipeta | 0,002 - 0,0625 | 2000 - 5000 | 1,0 - 5,0 |
| | Tubo (Bottom) | 0,002 - 0,0625 | 1000 - 3500 | 0,5 - 1,8 |
| | Evaporação | 0,002 - 0,0625 | < 1000 | < 0,5 |
| Obs.: | | | | |
| - Caso necessário, poderá ser aumentada a tabela para incluir grãos de areia com tamanho de até 0,35mm; | | | | |
| - A precisão decrescerá com o aumento do tamanho; | | | | |
| - A concentração exigida e a quantidade deverão aumentar proporcionalmente. | | | | |

O valor da concentração é calculado segundo os procedimentos a seguir:

- quando for usado o tubo de retirada pelo fundo, que usa evaporar a água, a concentração é calculada pelo peso total do sedimento acumulado somando a concentração do volume de 25ml retirado, dividido pelo volume ou peso total da água;
- quando for usada a pipetagem, toda a água restante com sedimento, após retirada da água sobrenadante para determinação do valor dos sólidos dissolvidos, é colocada na proveta de 1,0l. Após o procedimento de pipetagem coloca-se o restante da água numa cápsula e leva-se ao banho-maria para maior redução da água; em seguida leva-se à estufa para secagem e depois pesagem; corrigem-se os valores devido aos sais solúveis e somam-se às quantidades de sedimento das pipetagens e do resíduo de 25ml antes retirado, obtendo-se o peso total dos sedimentos presentes na amostra que, dividido pelo volume ou peso total da amostra fornece a concentração;
- quando for usado o processo do densímetro, após o procedimento de leituras, pode-se colocar o material da proveta em cápsula, levar ao banho-maria para maior redução da água e depois para a estufa; após correção do valor de sais solúveis obtém-se o peso total de sedimentos e da concentração.

A análise granulométrica de material do leito é feita por peneiramento. Sobrando resíduo fino após a peneira de malha mais fina igual ou maior que 5%, procede-se a uma análise pelo processo do densímetro, de pipetagem ou do tubo de retirada pelo fundo, obedecendo as limitações de cada método.

a) Método do tubo de retirada pelo fundo

Como foi visto, é o método que permite a utilização de menor quantidade de sedimento. Considerando que muitos dos rios do país apresentam baixa concentração, inferior a 300ppm, não é possível fazer a análise com a amostra natural, sendo necessário "concentrar". Esse processo consiste no que foi antes mostrado, deixando a amostra total em repouso por 24 horas ou mais e retirando a água limpa sobrenadante. O tubo deve conter um volume de 0,5l, quantidade essa que deverá ter todo o sedimento da amostra total. Então, um rio que esteja com a concentração média de 50mg/l na ocasião da amostragem exigirá a coleta de cerca de 4 litros de amostra, que conterá 200mg de sedimento no total. Em 0,5l essas 200mg corresponderão a 400mg/l, quantidade que possibilita a realização de uma boa análise, conforme mostra a Tabela 4.10. Conclui-se que águas limpas, com baixa concentração, necessitam de maior quantidade de verticais para coleta de subamostras, que sejam apanhadas duas subamostras por vertical.

O processo do tubo determina a granulometria do sedimento fino, o que exige a análise do material grosso por peneiramento, conforme antes explicado para o caso de pipetagem.

Essa análise demora, só a parte operacional com o tubo, toda a manhã, deixando o tubo livre para a tarde, o que resulta na possibilidade de duas análises por dia (ver Figura 4.32). Então, convém ter uma bateria adequada de tubos para fazer as análises usuais em um programa estabelecido.

Após o processo mecânico da análise vem o traçado das curvas de Oden, que possibilitará a obtenção das porcentagens granulométricas (Figura 4.33). Sendo obedecidas as limitações de análise e os outros cuidados necessários, o resultado permitirá o traçado da curva granulométrica com boa precisão.

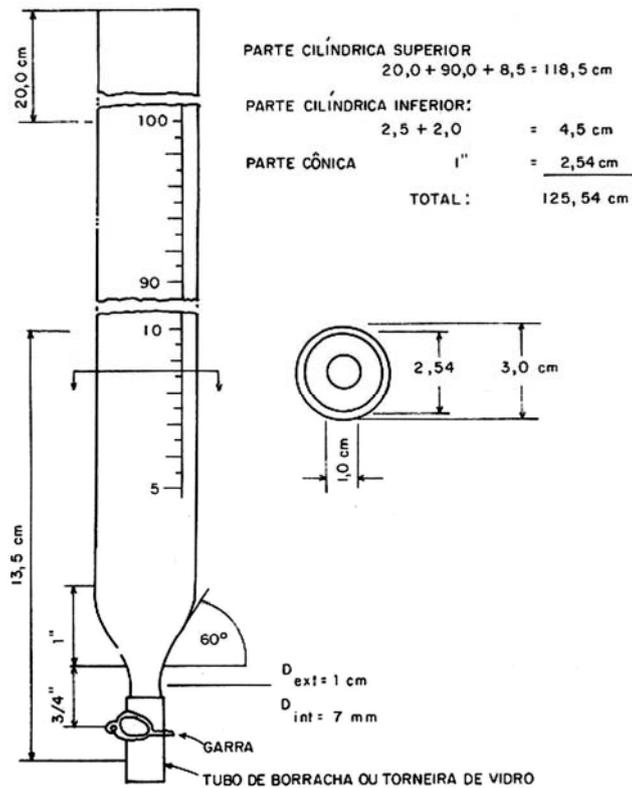


Figura 4.32 – Tubo de retirada pelo fundo para análise granulométrica de material fino.

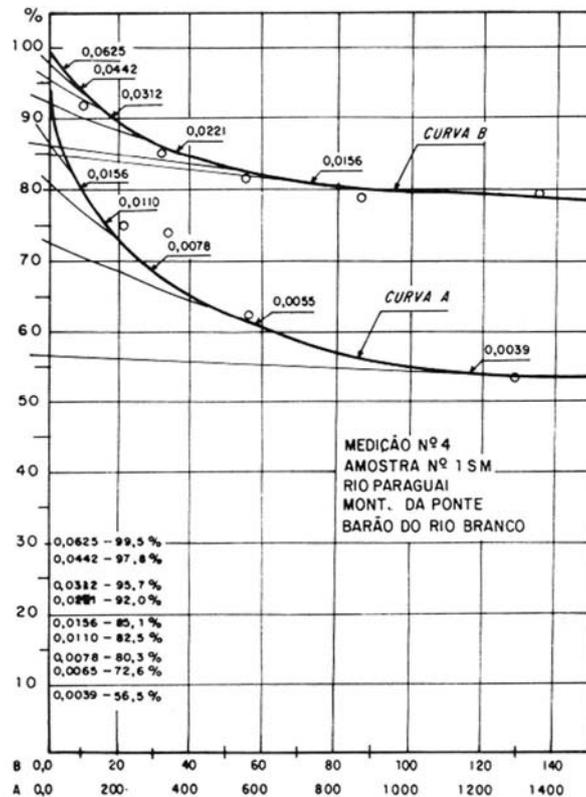


Figura 4.33– Traçado e uso da Curva de Oden para obtenção da granulometria de sedimentos finos

b) Pipetagem

A pipetagem é feita para determinação da granulometria de material fino $<0,062\text{mm}$. Usa-se para material em suspensão e como auxiliar na determinação da granulometria de finos do resíduo da última peneira quando sobrar material $>0,5\text{g}$.

A análise por esse método utiliza pipetas de 50 ou de 100ml e provetas de 1,0l. Pode ser uma análise manual ou por uma bateria de equipamentos com processo mecânico (Figura 4.34). A quantidade de sedimento para análise deve obedecer às limitações indicadas na Tabela 4.10, sendo então necessário que se faça o mesmo processo de redução da quantidade de água pela decantação do sedimento após 24 horas de repouso.

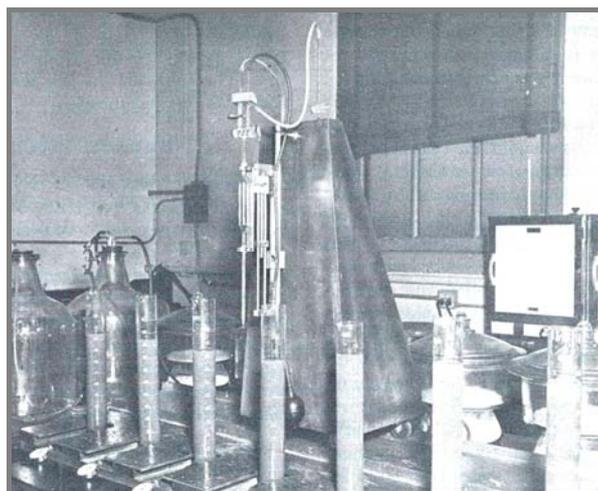


Figura 4.34 - Equipamento para análise por pipetagem (Guy, 1969).

O tempo e a altura de pipetagem é determinada pela lei de Stokes com base na temperatura da água e na queda de partículas de diâmetros de 0,062, 0,031, 0,016, 0,008, 0,004 e 0,002mm. As pipetas são enchidas em 8 a 12 segundos e então esvaziadas em um recipiente de evaporação. Daí vão para secagem em estufa.

Considerando que a análise é feita com a água original e que será evaporada, haverá um resíduo de sal com o sedimento, sendo necessária a determinação de sais solúveis para a devida correção.

c) Densímetro

O método mais utilizado no país com uso de densímetro é aquele introduzido por Casagrande em trabalhos de laboratório de Mecânica dos Solos. Pode utilizar dois tipos de densímetro, um de haste longa e outro de haste curta (Figura 4.35). Os resultados das leituras do densímetro são colocados no formulário adequado para os devidos cálculos e utilização do ábaco apropriado para solução da lei de Stokes.

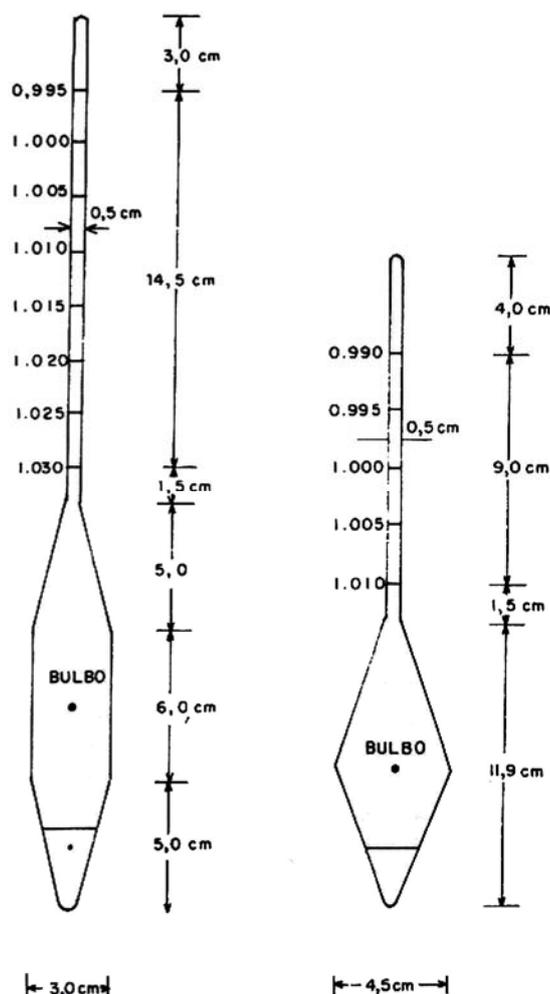


Figura 4.35 - Densímetros para uso em análise granulométrica de material fino.

d) Tubo de acumulação visual

Esse processo usa tubos, adequadamente construídos, em diversos tamanhos. Estes são escolhidos de acordo com a quantidade de peso seco da areia disponível para análise e também com o volume desse material. É aplicável dentro das limitações indicadas na Tabela 4.10.

O analisador consta essencialmente de um tubo de vidro portador da coluna de água, no qual se precipitam as partículas sólidas da amostra colocada inicialmente no seu topo. Dispõe ainda de uma válvula de comando elétrico que, uma vez aberta, dá início à precipitação do material através da coluna líquida. Essa partida é sincronizada ao movimento de um tambor giratório, no qual se acha fixado um papel de gráfico, conforme mostra a Figura 4.36. A chegada das partículas em queda ao fundo do tubo é acompanhada pelo observador através de uma luneta à qual se acha solidário um estilete que risca o papel do tambor. Comandando essa luneta, o operador acompanha, com um movimento vertical, a acumulação das partículas no fundo do tubo. O registro gráfico obtido nesse aparelho relaciona a velocidade de queda das partículas que sucessivamente se acumulam no fundo do tubo com os diâmetros correspondentes, conforme estabelece a lei de Stokes. O gráfico apresenta uma superposição de escalas funcionais, permitindo que se obtenham as porcentagens de material mais fino que os diâmetros indicados (Figura 4.37). No gráfico, a

e) Peneiramento

Esse método utiliza uma série de peneiras de malhas padronizadas, sendo a mais comum a série de Tyler. São empilhadas, estando a peneira de maior diâmetro de malha no topo e a de menor no fundo, todas acopladas para um recipiente final que recebe os finos da última peneira. Podem ser agitadas manualmente, mas devido ao peso do conjunto convém que sejam acopladas a um equipamento (*ro-tap*) que agita mecanicamente. Existem séries de peneiras de diâmetros diversos cujo uso é função da quantidade de sedimento disponível para a análise.

Existem dois processos de peneiramento, o úmido e o seco. No úmido a amostra é colocada na peneira de cima sendo adicionada água corrente para forçar as partículas mais finas passarem pelas malhas, não devendo ter o recipiente final para retenção dos finos da última peneira.

Cada porção de material retido na peneira é pesado, sendo a porcentagem de cada diâmetro de malha de peneira obtida com a divisão pelo peso total da amostra.

f) Traçado e uso das curvas granulométricas

Os resultados das análises granulométricas são apresentados pelas porcentagens de material dos diversos diâmetros, sendo traçadas as curvas granulométricas para uso adequado em diversos estudos (Figura 4.38). Normalmente, a curva de material em suspensão apresenta porcentagens maiores de finos, como argila e silte, e a curva de material do leito apresenta porcentagens significativas de areias.

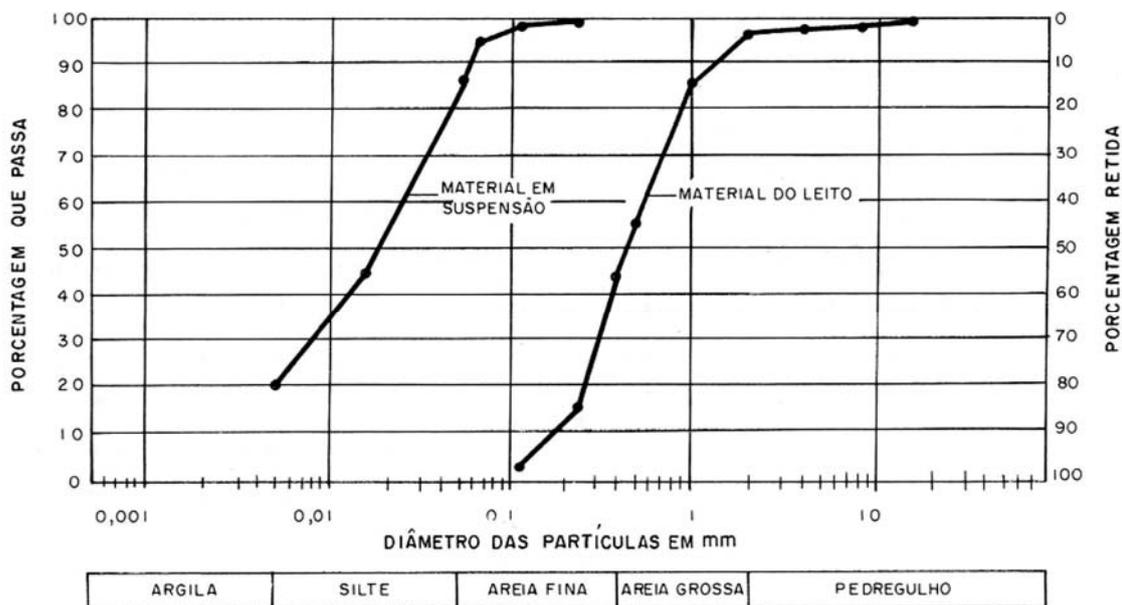


Figura 4.38 – Curva granulométrica média de sedimentos finos presentes em suspensão e de material grosso do leito - Rio São Francisco em Morpará (Carvalho, 1994).

Na curva granulométrica de material do leito devem ser assinaladas as porcentagens de diâmetros característicos para 10, 35, 50, 65 e 90%, que são denominados de D_{10} , D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90} , respectivamente. Esses valores são utilizados em diversos estudos e, principalmente, no interesse deste Guia, em cálculos de descarga sólida.

Das curvas de material em suspensão e do leito devem ser obtidas as porcentagens acumuladas de diâmetros de partículas que serão utilizadas no cálculo da descarga sólida. Esses diâmetros devem ser aqueles utilizados nessas fórmulas, que são de origem norte-americana e que utilizam a classificação granulométrica da AGU apresentada neste Guia. As porcentagens de cada diâmetro permitirão a obtenção das porcentagens entre faixas granulométricas, conforme o exemplo abaixo, para uma curva de material do leito (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Dados obtidos de curva granulométrica do posto do Rio Paraguai em PCH Alto Paraguai - dia 13/02/1999 (CEMAT).

| Diâmetro - Faixa granulométrica (mm) | (%) | Diâmetro característico (mm) | |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| | | | |
| 0,002 - 0,0625 | 0,10 | D ₁₀ | 0,195 |
| 0,0625 - 0,125 | 1,00 | | |
| 0,125 - 0,250 | 20,03 | D ₃₅ | 0,360 |
| 0,250 - 0,500 | 42,87 | | |
| 0,500 - 1,000 | 36,00 | D ₅₀ | 0,430 |
| 1,000 - 2,000 | - | | |
| 2,000 - 4,000 | - | D ₆₅ | 0,500 |
| 4,000 - 8,000 | - | | |
| 8,000 - 16,000 | | D ₉₀ | 0,595 |

4.4 O processamento dos dados brutos

Essa é a última etapa de um processo contínuo e dinâmico que é a operação de uma rede hidrométrica. Aqui os dados brutos (de campo, ou obtidos “in situ”, e de laboratório) devem ser reunidos e consolidados em uma única base de dados, de forma a poderem ser trabalhados para a obtenção de valores finais de descarga líquida e sólida: i) em suspensão; ii) do leito; iii) do material do leito; e iv) total.

Após essas determinações deve ser realizada uma análise dos erros e da consistência da informação produzida, depois do que a mesma pode ser finalmente entregue à comunidade de usuários através de mídia apropriada (internet, cd-rom, anuário estatístico, etc.).

A Figura 4.39 ilustra o roteiro de procedimentos.

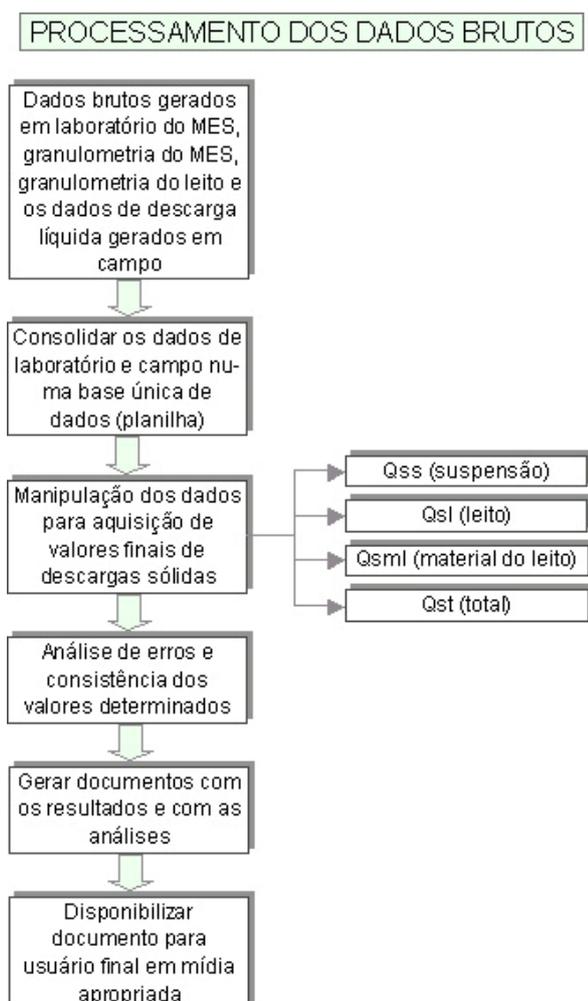


Figura 4.39 – Etapas da análise e processamento dos dados brutos.

4.4.1 Processamento dos dados e análise de consistência

O processamento dos dados ocorre desde o cálculo da descarga sólida até a obtenção de valores médios e parâmetros para uso em estudos. Uma vez tendo-se os dados da descarga líquida, dados das análises de sedimento e demais informações, a descarga sólida instantânea poderá ser calculada. Pode-se calcular a descarga em suspensão, do leito ou de arrasto, do material do leito e a descarga sólida total. A descarga em suspensão é calculada independentemente da descarga do leito porque não seguem a mesma lei de movimento. Enquanto o material em suspensão fica sujeito à ação da corrente, o material do leito sofre também ações de resistência entre as próprias partículas e interferências no leito.

Coleta, cálculo e publicação de dados sedimentométricos, bem como outros dados relativos ao meio ambiente devem fazer parte de um programa nacional para avaliar os efeitos na vida útil e nos aspectos econômicos de projetos e obras, relativos à navegação, controle de cheias, abastecimento d'água, recreação, poluição, pesca e obras hidráulicas em geral. A investigação sedimentológica pode incluir a determinação de descarga sólida de rios, levantamento de reservatórios, estudos de morfologia fluvial, pesquisa em processos básicos e interpretação de dados sedimentométricos (Porterfield, 1972).

Os dados, diários e eventuais, devem ser listados adequadamente para consulta fácil dos resultados. A listagem deve ter as seguintes colunas: número da medição da descarga sólida e da líquida, data, cota da régua, largura da seção transversal, área, profundidade média, velocidade média, concentração dos sólidos solúveis, concentração de sedimentos, valores das descargas líquidas, sólida em suspensão, de arrasto (ou de material do leito, e total (ver Tabela 4.13). Além dessas informações, deverão ficar disponíveis as curvas granulométricas. Ficam, assim, os dados brutos disponíveis para consulta e estudos adequados às finalidades pretendidas. Os dados podem ter um processamento posterior para disponibilidade de outros usos.

Tabela 4.13 -Resumo de medição de descarga sólida - Rio Aquidauana em Ponte do Grego (Carvalho, 1994).

| Medição | | Data | Cota (m) | Largura (m) | Área (m ²) | PM (m) | VM (m/s) | Concentração (ppm) | Descarga | | | |
|-----------|------------|----------|----------|-------------|------------------------|--------|----------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Sólida Nº | Líquida Nº | | | | | | | | Líquida (m ³ /s) | Sólida em Suspensão (t/dia) | Sólida de Arrasto (t/dia) | Sólida Total (t/dia) |
| 01 | 04 | 25.10.79 | 2,14 | 56,00 | 74,61 | 1,33 | 0,67 | 80,90 | 50,3 | 351,3 | 309,7 | 661,0 |
| 02 | 05 | 27.11.79 | 3,37 | 60,70 | 131,39 | 2,16 | 0,98 | 263,61 | 129,2 | 2943,0 | 5075,0 | 8018,0 |
| 03 | 06 | 04.12.79 | 2,79 | 59,50 | 121,99 | 1,73 | 0,85 | 147,87 | 88,0 | 1124,1 | 1485,9 | 2610,0 |
| 04 | 07 | 16.01.80 | 3,38 | 59,55 | 123,68 | 2,07 | 0,87 | 164,53 | 107,1 | 1522,9 | 3627,1 | 5150,0 |
| 05 | 08 | 06.02.80 | 2,66 | 58,15 | 103,13 | 1,77 | 0,82 | 130,92 | 84,2 | 952,2 | 1074,8 | 2072,0 |
| 06 | 09 | 03.03.80 | 4,50 | 65,60 | 203,54 | 3,10 | 1,15 | 188,55 | 233,7 | 3806,9 | 18524,1 | 22331,0 |
| 07 | 10 | 10.04.80 | 3,18 | 61,30 | 134,91 | 2,20 | 0,92 | 129,25 | 124,6 | 1391,4 | 1075,6 | 2467,0 |
| 08 | 11 | 03.05.80 | 2,62 | 58,40 | 98,16 | 1,68 | 0,79 | 193,88 | 77,1 | 1291,0 | 68,0 | 1359,0 |
| 09 | 12 | 19.06.80 | 2,38 | 55,80 | 89,47 | 1,60 | 0,70 | 237,90 | 62,5 | 1284,5 | 254,5 | 1539,0 |
| 10 | 13 | 11.07.80 | 2,30 | 56,20 | 76,20 | 1,35 | 0,71 | 352,97 | 54,4 | 1658,3 | 795,7 | 2454,0 |
| 11 | 14 | 05.08.80 | 2,16 | 55,40 | 71,95 | 1,30 | 0,66 | 35,67 | 47,8 | 147,1 | 575,9 | 723,0 |
| 12 | 15 | 08.09.80 | 2,01 | 54,90 | 63,46 | 1,15 | 0,62 | 64,59 | 39,1 | 218,2 | 180,8 | 399,0 |
| 13 | 16 | 14.10.80 | 2,47 | 57,35 | 83,67 | 1,45 | 0,76 | 1023,99 | 63,8 | 5647,3 | 991,7 | 6639,0 |
| 14 | 17 | 07.11.80 | 2,35 | 57,10 | 85,10 | 1,49 | 0,70 | 196,49 | 60,1 | 1020,1 | 79,9 | 1100,0 |
| 15 | 18 | 28.12.80 | 4,15 | 63,90 | 165,02 | 2,58 | 1,15 | 416,19 | 189,5 | 6813,4 | 6327,6 | 13141,0 |
| 16 | 19 | 23.01.81 | 3,92 | 65,20 | 171,51 | 2,63 | 0,51 | 772,25 | 86,8 | 5791,0 | 52,0 | 5843,0 |
| 17 | 20 | 16.02.81 | 3,58 | 63,20 | 149,09 | 2,36 | 0,98 | 270,39 | 145,7 | 3404,2 | 5149,8 | 8554,0 |
| 18 | 21 | 02.03.81 | 3,69 | 62,50 | 151,35 | 2,42 | 1,01 | 248,49 | 152,9 | 3283,6 | 4962,4 | 8246,0 |
| 19 | 22 | 06.04.81 | 2,48 | 58,10 | 90,57 | 1,55 | 0,76 | 700,33 | 68,8 | 4161,1 | 265,9 | 4427,0 |
| 20 | 23 | 10.05.81 | 2,34 | 58,10 | 82,10 | 1,41 | 0,71 | 112,62 | 58,5 | 569,4 | 1066,6 | 1636,0 |
| 21 | 24 | 04.07.81 | 2,28 | 57,30 | 85,64 | 1,49 | 0,67 | 112,45 | 57,1 | 554,5 | 360,5 | 915,0 |
| 22 | 25 | 05.07.81 | 2,25 | 57,25 | 84,27 | 1,47 | 0,67 | 117,27 | 56,2 | 569,3 | 1097,7 | 1667,0 |
| 23 | 26 | 03.09.81 | 2,11 | 56,50 | 71,26 | 1,26 | 0,67 | 124,56 | 47,6 | 512,4 | 371,6 | 884,0 |
| 24 | 27 | 04.09.81 | 2,10 | 56,50 | 71,19 | 1,26 | 0,68 | 66,22 | 48,3 | 276,2 | 342,8 | 619,0 |
| 25 | 28 | 29.11.81 | 2,11 | 56,90 | 65,66 | 1,15 | 0,64 | 94,08 | 41,7 | 338,9 | 208,1 | 547,0 |
| 26 | 29 | 30.11.81 | 2,10 | 56,90 | 66,90 | 1,17 | 0,63 | 76,66 | 41,9 | 277,5 | 199,5 | 477,0 |
| 27 | 30 | 21.01.82 | 2,46 | 57,90 | 87,75 | 1,52 | 0,69 | 628,24 | 60,7 | 3294,7 | 1271,3 | 4566,0 |
| 28 | 31 | 22.01.82 | 2,59 | 59,20 | 100,49 | 1,70 | 0,72 | 209,57 | 72,5 | 1312,9 | 980,1 | 2293,0 |
| 29 | 32 | 06.03.82 | 4,55 | 67,50 | 201,47 | 2,98 | 1,07 | 565,12 | 215,0 | 10497,8 | 460,2 | 11958,0 |
| 30 | 33 | 07.03.82 | 4,54 | 67,60 | 204,92 | 3,03 | 1,07 | 213,43 | 219,1 | 4039,3 | 1818,3 | 5858,0 |

Métodos: E – Método modificado de Einstein; FK – Frijlink-Kalinske; MP – Meyer-Peter

a) Descarga sólida em suspensão

O sedimento em suspensão representa, na maioria dos casos, a maior quantidade de descarga sólida total. Por essa razão e também pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte das eventuais só contemplam o sedimento em suspensão. A descarga em suspensão pode corresponder, em média, entre 70 a 95% da descarga sólida total, sendo isso função da posição da seção transversal no curso d'água e outros fatores.

A concentração determinada não corresponde ao valor verdadeiro, é um pouco inferior, porque os equipamentos não alcançam toda a profundidade na vertical de amostragem ficando uma zona não amostrada, que apresenta maior concentração do que a parte superior, a zona amostrada. Como a descarga em suspensão é calculada com a descarga líquida total, o valor é corrigido em parte, mas não totalmente.

O cálculo da descarga em suspensão é feito considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, ficando então igual ao produto da descarga líquida pela concentração. Considerando a questão das unidades que não são homogêneas, num mesmo sistema, é necessário verificar a constante adequada. Para as determinações usuais no país, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{ss} = 0,0864Q.C \quad (4.7)$$

sendo Q_{ss} em t/dia, Q a descarga líquida em m^3/s e C a concentração média medida em mg/l ou ppm. A constante se refere ao fator de transformação de unidades. Essa concentração média é obtida quando é utilizado o método IIL ou IID durante a amostragem e feita uma só análise da amostra composta.

O cálculo da descarga sólida em suspensão para amostragens pontuais é feito com uso da seguinte equação:

$$q_{ssp} = 0,0864.c.v.\Delta p.l \quad (4.8)$$

sendo

q_{ssp} = descarga sólida em suspensão parcial na posição de influência do ponto de amostragem, em $t \text{ dia}^{-1} m^{-1}$

c = concentração de sedimento no ponto, em $mg \text{ l}^{-1}$

v = velocidade da corrente no ponto de amostragem, em $m \text{ s}^{-1}$

Δp = profundidade (ou altura) de influência do ponto considerado, que vai da metade da distância ao ponto superior até a metade da distância do ponto seguinte inferior medido; os pontos extremos serão considerados até a superfície e até o fundo, em m

l = largura parcial de influência (ou segmento de largura), indo até à metade de cada posição de verticais de medições pontuais; as verticais extremas serão consideradas até a margem, em m.

A descarga em suspensão na vertical é o somatório das descargas pontuais parciais. A concentração média c_{mv} na vertical é igual a:

$$c_{mv} = \frac{\sum q_{ssp}}{0,0864 \sum c.v.\Delta p.l} \quad (4.9)$$

As medições pontuais da concentração com equipamento fixo registrador (turbidígrafo, nuclear registrador, de bombeamento ou outro) ou amostragens diárias pelo observador necessitam da obtenção de calibragem por medições regulares em toda a seção. As concentrações pontuais do equipamento registrador são plotados num gráfico em função das concentrações médias das medições em toda a seção. Esse gráfico permite a obtenção das concentrações médias na seção para as outras condições de medida pontual da concentração pelo equipamento, ou da medição da concentração na vertical pelo observador.

O cálculo para amostragens verticais por integração é feito com uso da seguinte equação:

$$q_{ss} = 0,0864 q_i \cdot c_{mv} \quad (4.10)$$

sendo

q_{ss} = descarga sólida em suspensão no segmento, em t dia⁻¹ m⁻¹

q_i = descarga líquida no segmento, em m³ s⁻¹

c_{mv} = concentração média na vertical, em mg l⁻¹

A descarga em suspensão na seção transversal é o somatório das descargas na vertical. A concentração média C na seção é igual a:

$$C = \frac{\sum q_{ss}}{0,0864 \sum q_i \cdot c_{mv}} \quad (4.11)$$

b) Descarga sólida do leito e do material do leito

A descarga sólida de arrasto representa somente a menor parte da descarga sólida total, sendo, em média, de 5 a 10%, podendo chegar a 30%. Segundo alguns autores, a descarga instantânea do leito pode variar entre 2 a 150% da descarga em suspensão (ICOLD, 1989). Assim, essa variação pode ser significativa, o que justifica medições regulares dessa carga do leito e não somente da descarga em suspensão.

Devido à complexidade da carga sólida do leito na Natureza, tem sido bem estudada, existindo vários métodos ou fórmulas para a sua determinação. Por se constituir em material mais grosso e pesado, pode obstruir canais de navegação, impedindo o trânsito de barcos. Em reservatórios, esse sedimento se deposita na área de remanso, formando o delta que geralmente tem grande volume acima do volume morto, diminuindo a regularização e a capacidade reservada para a geração de energia. Em pequenos reservatórios é certo que o sedimento do leito do rio será retido, podendo haver uma distribuição diferente daquela do grande reservatório. Às vezes, esse sedimento pode assorear um pequeno reservatório em pouco tempo, ou mesmo durante uma só enchente.

A descarga sólida de material do leito corresponde a um valor que inclui a descarga de arrasto e uma parcela da descarga em suspensão, cuja composição é de material do leito.

c) Descarga do leito em medições diretas

A medição direta da descarga sólida do leito é feita com medidores portáteis ou removíveis colocados no leito, ou estruturas fixas, como poços ou fendas. Os equipamentos portáteis devem ser aferidos em laboratório para conhecimento da sua eficiência de amostragem. O equipamento é colocado em 10 a 15 posições do leito ao longo da seção transversal e mantido por alguns minutos, de tal forma que o recipiente fique no máximo com 50% de sua capacidade com sedimento do leito. Caso as diferentes medições pontuais não apresentem coerência, é conveniente que seja feita mais de uma amostragem por ponto. Todas as partículas que entram no recipiente do amostrador devem ser recolhidas com uso de esguichos de água, transferidas para um bandejo e depois para um saco plástico (Figura 4.40) O sedimento recolhido tem o peso seco e a granulometria determinados em laboratório.



Figura 4.40 –Retirada da amostra na medição de descarga de arrasto com o amostrador Arnhem. Rio Coxim, MS – IPH/UFRGS (02.03.1994).

A fórmula de cálculo é a seguinte (WMO, 1981):

$$Q_{sa} = \frac{86,4}{E_r} \left(\frac{q_{sa1}}{2} x l_1 + \frac{q_{sa1} + q_{sa2}}{2} x l_2 + \dots + \frac{q_{san-1} + q_{san}}{2} x l_{n-1} + \frac{q_{san}}{2} x l_n \right) \quad (4.12)$$

sendo

Q_{sa} = descarga sólida de arrasto na seção transversal, em t dia⁻¹

E_r = eficiência de retenção ou de amostragem do equipamento, valor determinado em laboratório, variando de 0,40 a 1,00

q_{sai} = descarga de arrasto parcial, obtida do peso seco dividido pelo tempo de medida e pela largura do bocal do amostrador em kg s⁻¹ m⁻¹

l_i = distância entre a metade da largura do ponto medido para a metade da largura do outro ponto, em m; os pontos extremos terão suas distâncias consideradas até a margem.

d) Descarga do leito e do material do leito em medições indiretas

A medição indireta mais tradicional é feita através da coleta de amostras do material do leito, determinação das características do curso d'água e análise granulométrica do sedimento, possibilitando o cálculo da descarga de arrasto ou de material do leito por uma fórmula ou metodologia. Esses processos são conhecidos por *fórmulas*. Estas devem ser escolhidas com critério, tanto baseado nas condições locais do curso d'água quanto no desenvolvimento teórico ou facilidade de aplicação. Muitas fórmulas têm sido propostas, mas nenhuma inteiramente satisfatória e aplicável a uma extensa gama de circunstâncias (Cunha, 1968). A seleção da fórmula mais adequada é muito importante para o cálculo preciso da descarga sólida total dos cursos d'água e estuários, particularmente onde recursos energéticos estão envolvidos, ou em cursos d'água onde contaminantes estão associados com os sedimentos (Stevens e Yang, 1989).

Stevens e Yang (1989) selecionaram fórmulas baseadas no suporte teórico que apresentam e no grau de aplicação pelo autor e por outros técnicos. De acordo com esse estudo comparativo, foram indicadas as fórmulas da Tabela 4.14 consideradas como as de maior confiança.

Tabela 4.14 - Resumo das principais fórmulas para cálculo da descarga sólida de arrasto e de material do leito apresentadas por Stevens e Yang (1989).

| Autor da fórmula | Data | Movimento da carga sólida (B) ou Características do material (BM) | Tipo de fórmula (1) | Tipo de sedimento (2) | Granulometria (3) |
|------------------------------|------|---|---------------------|-----------------------|-------------------|
| Ackers e 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 e Hansen (*) | 1967 | BM | D | S | S |
| Kalinske | 1947 | B | D | M | S |
| Laursen | 1958 | BM | D | M | S |
| Meyer-Peter e Muller (*) | 1948 | B | D | S | S, G |
| Rottner | 1959 | B | D | S | S |
| Schoklitsch (*) | 1934 | B | D | M | S, G |
| Toffaletti | 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 (S), composição ou mistura (M) ou opcional (O);

(3) Areia S ou pedregulho (G);

(*) Consideradas de maior confiança por Stevens e Yang.

Outro trabalho, que pode ser consultado pela existência de *software* para computadores, foi realizado por Lago e Paiva (1995), que escolheram diversas fórmulas de transporte de sedimento.

A descarga sólida depende de muitos fatores, tais como hidrológicos, geológicos e climáticos, tornando difícil a escolha do método ou da fórmula. Uma determinada fórmula pode ser mais precisa que outra na sua aplicação. A seleção da fórmula adequada, segundo Stevens e Yang (1989), pode ser feita segundo o critério a seguir:

- a. determinar o tipo de dados de campo, disponíveis ou mensuráveis, dentro das limitações de tempo, recursos financeiros e de pessoal;
- b. examinar todos os dados e tentativas de campo utilizados para o desenvolvimento de cada fórmula, fazendo a seleção baseada nas variáveis independentes citadas em *a*;
- c. comparar a condição de campo e as limitações das fórmulas selecionadas segundo *b*. Se mais de uma fórmula pode ser usada, calcular o valor da descarga sólida obtido em cada uma e em seguida comparar os resultados;
- d. decidir quais as fórmulas que melhor se ajustam à descarga sólida medida, usando-as para o cálculo dentro das condições de escoamento que não são medidas.

As seguintes considerações podem ser feitas na falta de medições diretas:

- a fórmula de Meyer-Peter e Muller é usada quando o material do leito apresenta granulometria maior que 0,4mm;
- a fórmula de Einstein, quando a descarga de arrasto é uma parte significativa da descarga sólida total;
- a fórmula de Toffaleti é adequada para grandes rios com leitos de areia;
- a fórmula de Colby (1964) é usada para rios com profundidades menores que 3m e material do leito com diâmetro médio menor que 0,8mm;
- a fórmula de Yang, de areias, é usada em rios com leito de areia;
- a fórmula de Yang, de pedregulhos, é usada quando a maior parte do material do leito tem granulometria de 2 a 10mm;
- as fórmulas de Ackers e White e de Engelund e Hansen são para rios com leito de areias e escoamento subcrítico;
- a fórmula de Laursen é para rios rasos com areia fina ou silte mais grosso.

Antes do advento do computador, trabalhar com essas fórmulas era difícil, devido à grande quantidade de cálculos envolvidos. Então, era necessário ser escolhida previamente a fórmula a ser utilizada e trabalhar com ela até o final dos estudos. Felizmente essa situação mudou, sendo necessário somente inserir num programa para computador os dados necessários, e obtendo, com rapidez e facilidade, os resultados das diversas fórmulas. Dessa forma, a escolha será de acordo com a experiência do engenheiro, que manipulará os dados adequadamente depois de conhecer o regime e todas as características do local de medição no curso d'água.

As fórmulas indicadas na Tabela 4.14 necessitam de diversos dados e parâmetros hidráulicos que são solicitados pelo *software*, sendo alguns já embutidos. Os dados da obtidos durante a medição da descarga líquida, a temperatura na hora da medição, a granulometria do material do leito e a declividade do gradiente de energia são dados indispensáveis. Da curva granulométrica do material do leito são obtidos os diâmetros característicos D_{10} , D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90} , bem como as porcentagens para os diversos diâmetros usuais ou as porcentagens de faixas granulométricas, entre diâmetros. A tensão tangencial crítica, velocidade de queda de partícula e outros parâmetros estão embutidos nas fórmulas que serão calculados de acordo com características granulométricas, temperatura d'água, vazão e outros dados. A partir da temperatura é obtida a viscosidade cinemática.

A declividade da linha energética S , ou gradiente de energia, deve ser obtida no campo, sendo uma das mais difíceis medidas hidráulicas, porque, em geral, a superfície d'água não é paralela ao leito do rio, e tampouco é uma linha reta. As seguintes regras ajudam a alcançar a precisão necessária (Simons e Senturk, 1977):

- a partir de um RN básico, determinar o perfil da linha d'água num trecho do curso d'água em que esteja incluída a seção transversal (500m ou de acordo com a declividade no estirão); nesse trecho não deve haver afluente e nem derivação;
- escolher no estirão duas seções, uma a montante e outra a jusante, distantes cada uma 250m da seção transversal principal (nota: o nivelamento deve ser feito dentro dos critérios da topografia, devendo haver uma diferença no nível d'água que permita a determinação da declividade com a precisão adequada, não sendo necessariamente 500m, como diz essa regra);

- determinar o NA de cada uma das seções extremas, repetindo essa operação pelo menos três vezes e obtendo a média (às vezes, é necessário determinar essa declividade d'água nas duas margens para melhor precisão);
- determinar as velocidades médias nas duas seções extremas com o molinete (ou fazer o levantamento das duas seções transversais e obter as velocidades médias com o uso da vazão da seção);
- determinar as declividades da linha d'água nos trechos a montante e a jusante da seção transversal, e comparar com a declividade da seção principal completa; se a diferença for maior que 10%, selecionar outro trecho;
- calcular S pela fórmula:

$$S = \frac{(h_{mont} - h_{jus}) + \frac{v_{mont}^2 - v_{jus}^2}{2g}}{L} \quad (4.13)$$

sendo,

$h_{mont} - h_{jus}$ = diferença entre os NA da seção a montante e a jusante,
 v_{mont} e v_{jus} = velocidades médias das seções a montante e a jusante,
 L = distância entre as seções,
 g = constante de aceleração da gravidade.

Considerando a necessidade de se determinar essa declividade em cada medição, pode-se tomar uma das seguintes providências:

- instalar RNs a montante e a jusante, definitivos, que possam auxiliar em medição da declividade;
- instalar réguas a montante e a jusante, consideradas as mesmas referências, para possibilitar leituras simultâneas na ocasião das medidas da descarga sólida.

Na falta da determinação de S no campo, pode-se usar a fórmula de Manning para calcular um valor aproximado, o que resulta:

$$S = \left(\frac{Q.n}{A.R^{2/3}} \right)^2 \quad (4.14)$$

O valor do raio hidráulico R é considerado igual à profundidade média do rio, e o valor do coeficiente de rugosidade n é obtido em tabelas. Para o caso de leitos de areia, de granulometria fina a média, n varia de 0,020 a 0,027; para areias de 1 a 2mm, o valor de n varia de 0,026 a 0,038, enquanto que para argilas é igual a 0,030 (Benson e Dalrympe, 1969).

Uma outra maneira de determinar S como valor aproximado é pelo método sugerido por Einstein (ver USBR, 1955, e Carvalho, 1994). Utiliza-se a equação 4.15, sendo que o valor de x é arbitrado entre 1,0 e 1,6 e depois verificado por tentativas a partir das equações 4.16 e 4.17 junto a figura 4.41, e ainda, a equação 4.18 junto a figura 4.42.

$$\sqrt{RS} = \frac{v}{18,01 \cdot \log\left(\frac{12,27 \cdot x \cdot p}{D_{65}}\right)} = \frac{v}{7,822 \cdot \text{Ln}\left(\frac{12,27 \cdot x \cdot p}{D_{65}}\right)} \quad (4.15)$$

$$u'_x = \sqrt{RS \cdot g} \quad (4.16)$$

$$\delta = \frac{11,6 \cdot \nu}{u'_x} \quad (4.17)$$

$$x = f\left(\frac{D_{65}}{\delta}\right) \quad (4.18)$$

sendo

R – raio hidráulico que é considerado igual à profundidade, em m

v - velocidade média da corrente, em m

p - profundidade média na seção transversal, em m

D_{65} – diâmetro característico do material do leito, em m

g - constante de aceleração da gravidade

ν - viscosidade cinemática, em m²/s

Os resultados de S por esse método são baixos; a fórmula de Manning tem se mostrado mais adequada.

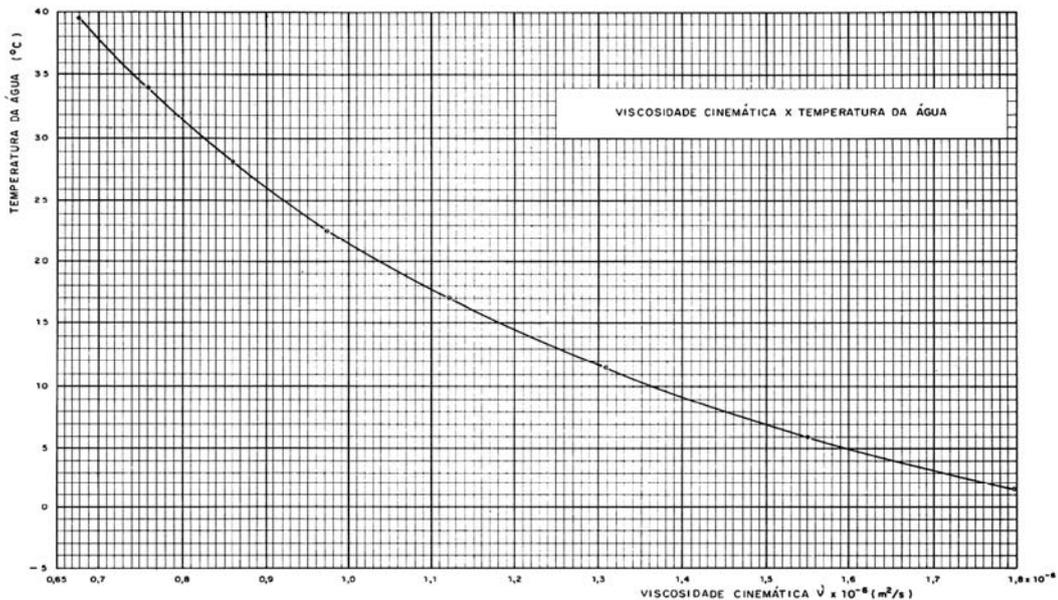


Figura 4.41 – Representação gráfica da viscosidade cinemática em função da temperatura da água (USBR, 1955 modificado por Carvalho 1994)

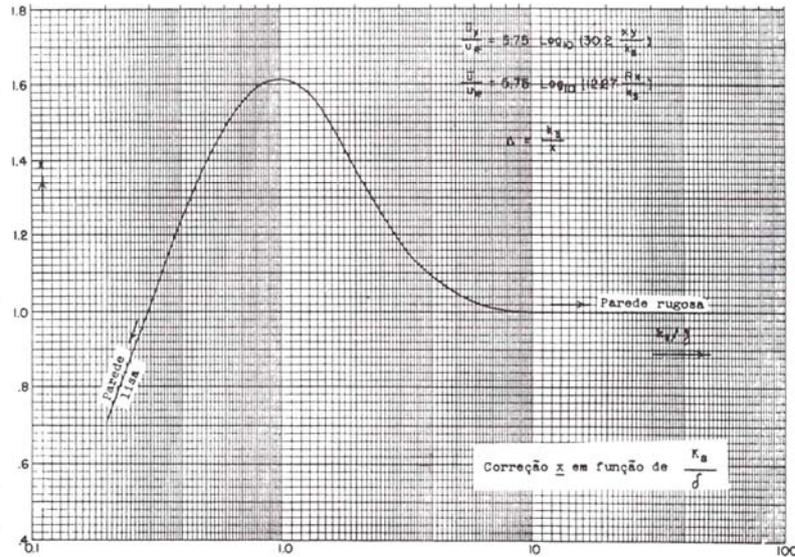


Figura 4.42 – Valores de x em função de D_{65} (USBR, 1955).

Outros valores e parâmetros são necessários para uso das diversas fórmulas de cálculo da descarga sólida do leito ou do material do leito. O valor do diâmetro médio de partículas usado em algumas fórmulas é calculado pela equação 4.19:

$$D_m = \sum_{i=1}^m D_{si} \cdot i_t \tag{4.19}$$

sendo:

D_m = diâmetro médio de partículas;

D_{si} = diâmetro médio geométrico entre dois diâmetros de uma faixa;

i_t = fração granulométrica entre os dois diâmetros, normalmente apresentados em %.

Segundo o ICOLD (1989), a seleção do método a ser usado para calcular a carga do leito deve ser feita quando o programa de amostragem de sedimento é planejado. Uma orientação conveniente para escolha ou correção em cálculos é dada na Tabela 4.15. A tabela mostra que a descarga do leito é dependente da concentração e da granulometria do sedimento em suspensão e do material do leito.

Tabela 4.15 – Orientação para escolha ou correção da descarga do leito (ICOLD, 1989).

| Condição | Concentração de sedimento em suspensão (mg/l) | Material do leito do rio | Granulometria do material em suspensão | Porcentagem de descarga do leito em função da descarga em suspensão |
|----------|---|---|--|---|
| 1 (*) | < 1.000 | Areia | 20 a 50% de areia | 25 a 150 |
| 2 (*) | > 1.000 a 7.500 | Areia | 20 a 50% de areia | 10 a 35 |
| 3 | > 7.500 | Areia | 20 a 50% de areia | 5 |
| 4 (**) | Qualquer concentração | Argila compactada, pedregulho, seixos rolados ou pedras | Pequena quantidade de areia até 25% | 5 a 15% |
| 5 | Qualquer concentração | Argila e silte | Nenhuma areia | < 2 |

(*) Nessas condições são exigidos programas especiais de amostragem para cálculos pelo método modificado de Einstein.

(**) Um medidor de sedimento do leito tal como o Helley-Smith pode ser utilizado; também a descarga do leito pode ser obtida através de fórmulas quando o material do leito é de pedregulhos ou de seixos rolados.

e) Descarga sólida total

A descarga sólida total é o valor necessário na grande maioria dos estudos sedimentológicos. Normalmente é obtida pela soma da descarga em suspensão com a descarga do leito, havendo, no entanto, muitas implicações nesse procedimento simples. Na Tabela 4.16 é apresentado um diagrama obtido de diversos autores (ver Carvalho, 1994), indicando critérios de obtenção da descarga sólida total.

Tabela 4.16 – Diagrama esquemático de classificação da carga sólida para sua obtenção quantitativa (modificado por Carvalho (1994) a partir de esquema de diversos autores).

| | Baseado na granulometria | Baseado na eficiência de escoamento do leito e na granulometria | Baseado no modo de transporte | Baseado no método de quantificação | Baseado na amostragem de sedimentos |
|--------------------|---|--|--|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Carga Sólida Total | Carga de finos + Carga em suspensão de material do leito + Carga do leito | Carga de finos + Carga de material do leito | Carga em suspensão + Carga saltante + Carga do leito | Carga medida + Carga não-medida | Carga amostrada em suspensão + Carga não-amostrada em suspensão + Carga do leito |

Pode-se, então, obter o valor da descarga sólida total pelos seguintes processos principais:

- pela soma da descarga em suspensão com a descarga de arrasto e mais uma parcela que leva em conta a descarga não-amostrada; essa parcela é obtida a partir de estudos de material em suspensão e de fundo, que permitem obter os coeficientes de correção;
- pela soma da descarga de material fino com a descarga de material do leito;
- por processo de cálculo, como o método modificado de Einstein, exigindo amostragens e análises granulométricas do sedimento em suspensão e do leito (este método foi colocado no sistema métrico por Otto Pfafstetter e Carvalho); também pelo método simplificado de Colby, de 1957, tendo sido colocado no sistema métrico por Carvalho (1981, 1994). Existem *softwares* para ambos os métodos disponíveis na ANEEL;
- por levantamento topo-hidrográfico de um grande reservatório e cálculo do volume assoreado obtendo-se a descarga sólida total média; é necessário o conhecimento, ou um fator de correção, que leve em conta o sedimento que sai com o escoamento da água a jusante.

O uso do método simplificado de Colby não deve ser feito indiscriminadamente, sem um estudo adequado de sua aplicabilidade. Convém que parte das medições, no mínimo 10%, sejam realizadas com uso de um método confiável, como por exemplo o

método modificado de Einstein, para possibilitar calibragem e correções nos valores calculados pelo método de Colby.

f) *Processamento de dados de observação diária*

Dados diários são obtidos através de equipamentos de medição pontual instalados em posição fixa ou por amostragem feita por observador do posto. Os dois procedimentos medem a descarga em suspensão e exigem calibrações a partir de medições regulares por equipe de hidrometria. Essas calibrações têm de ser feitas anualmente ou em outro período, uma vez que a turbidez e a concentração mudam na seção por diversas razões.

O equipamento de medição pontual pode ser um turbidímetro registrador, cujo sensor de medida da turbidez é instalado fixo próximo à margem. Periodicamente, em medidas eventuais, os hidrometristas devem efetuar amostragens ao longo da seção para determinação da concentração média na seção. Os diversos valores obtidos ao longo de um período devem ser correlacionados com a turbidez, cada valor obtido do registro da mesma ocasião das medições eventuais.

Outro equipamento, do tipo nuclear, ultra-sônico ou o de bombeamento, pode também ser instalado na margem para medição pontual, sendo a grandeza medida pelo sensor correlacionada com a concentração.

A medida feita pelo observador consiste de uma amostragem na posição do talvegue. O procedimento de calibragem é o mesmo acima apresentado.

Lacunas de dados diários podem ser estudadas a partir da preparação de uma curva-chave de sedimentos, $Q_s = f(Q)$ ou $C = f(Q)$ e preenchidas a partir dos valores de Q_s calculados com o valor de Q . Também podem ser preenchidas a partir do traçado de um gráfico de concentrações (sedimentograma) plotadas também com vazões diárias (fluviograma) em função do tempo.

Os valores médios diários de descarga sólida são colocados em planilha (boletim) juntamente com as vazões médias diárias. O cálculo da descarga em suspensão é feito pela equação 4.7. O boletim é preparado para o ano hidrológico ou ano civil, devendo ser feito o sumário mensal (total, média, máxima e mínima) e o sumário anual (transporte total e médio anual, máximo e mínimo transporte anual para descarga em suspensão e concentração, contribuição ou produção de sedimentos ou descarga específica de sedimentos, deflúvio total anual e vazão específica). Para ilustrar é apresentada parte de boletim anual da CEMIG na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Boletim semestral de descarga em suspensão – Rio São Francisco em Porto das Andorinhas – Ano hidrológico 1981/82 (CEMIG).

Bacia do Rio São Francisco Posto nº 4010001 Área de Drenagem - 13300 km² Lat 19°18' Long 45°17'
Ano Hidrológico - 1981/82

| DIA | OUTUBRO | | NOVEMBRO | | DEZEMBRO | | JANEIRO | | FEVEREIRO | | MARÇO | | DIA |
|-----|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|-----|
| | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/di | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/dia | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/dia | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/dia | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/dia | Descarga Líquida m ³ /s | Descarga Sólida t/di | |
| 01 | 60,5 | 159 | 214,0 | 7867 | 328,0 | 14087 | 709,0 | 24000 | 1070,0 | 12100 | 442,0 | 13025 | 01 |
| 02 | 66,0 | 5744 | 209,0 | 7900 | 407,0 | 16166 | 672,0 | 20568 | 1040,0 | 12376 | 445,0 | 12331 | 02 |
| 03 | 83,2 | 594 | 179,0 | 6153 | 453,0 | 14653 | 670,0 | 17172 | 1020,0 | 14183 | 456,0 | 11157 | 03 |
| 04 | 78,0 | 270 | 160,0 | 4274 | 578,0 | 16680 | 677,0 | 15878 | 1010,0 | 10129 | 486,0 | 18010 | 04 |
| 05 | 79,3 | 280 | 166,0 | 3841 | 545,0 | 19589 | 690,0 | 64228 | 995,0 | 9024 | 482,0 | 14240 | 05 |
| 06 | 84,5 | 826 | 202,0 | 4564 | 540,0 | 19581 | 721,0 | 60801 | 978,0 | 11803 | 495,0 | 13107 | 06 |
| 07 | 101,0 | 465 | 273,0 | 10864 | 542,0 | 15806 | 735,0 | 26035 | 963,0 | 10235 | 514,0 | 18551 | 07 |
| 08 | 108,0 | 484 | 284,0 | 11677 | 528,0 | 12672 | 757,0 | 24315 | 949,0 | 15686 | 574,0 | 41663 | 08 |
| 09 | 94,9 | 408 | 245,0 | 11377 | 507,0 | 10414 | 777,0 | 20515 | 937,0 | 13262 | 566,0 | 18819 | 09 |
| 10 | 101,0 | 465 | 227,0 | 8345 | 576,0 | 10545 | 791,0 | 17248 | 923,0 | 6113 | 607,0 | 19130 | 10 |
| 11 | 128,0 | 763 | 324,0 | 20073 | 564,0 | 9047 | 807,0 | 16385 | 905,0 | 15619 | 637,0 | 17602 | 11 |
| 12 | 163,0 | 1267 | 280,0 | 7285 | 632,0 | 9569 | 842,0 | 16761 | 891,0 | 14945 | 675,0 | 46383 | 12 |
| 13 | 177,0 | 9818 | 358,0 | 9037 | 662,0 | 12278 | 868,0 | 16447 | 876,0 | 12904 | 732,0 | 41484 | 13 |
| 14 | 192,0 | 1785 | 505,0 | 34526 | 687,0 | 15413 | 862,0 | 15780 | 856,0 | 12327 | 805,0 | 40400 | 14 |
| 15 | 286,0 | 4113 | 540,0 | 36956 | 704,0 | 12944 | 862,0 | 20889 | 830,0 | 12704 | 810,0 | 29837 | 15 |
| 16 | 383,0 | 7582 | 590,0 | 33269 | 715,0 | 28036 | 859,0 | 19474 | 799,0 | 12295 | 827,0 | 24432 | 16 |
| 17 | 403,0 | 8436 | 566,0 | 31314 | 732,0 | 29451 | 853,0 | 23702 | 757,0 | 12205 | 859,0 | 20481 | 17 |
| 18 | 412,0 | 8835 | 521,0 | 21231 | 754,0 | 31336 | 847,0 | 20261 | 712,0 | 12576 | 876,0 | 18687 | 18 |
| 19 | 412,0 | 8835 | 509,0 | 21712 | 774,0 | 31102 | 850,0 | 18200 | 665,0 | 12387 | 897,0 | 18568 | 19 |
| 20 | 373,0 | 7174 | 500,0 | 18232 | 788,0 | 34369 | 888,0 | 20270 | 617,0 | 13211 | 897,0 | 16349 | 20 |
| 21 | 316,0 | 5068 | 530,0 | 18496 | 799,0 | 35381 | 946,0 | 22408 | 571,0 | 15076 | 897,0 | 13949 | 21 |
| 22 | 309,0 | 4836 | 574,0 | 35079 | 807,0 | 36128 | 940,0 | 18337 | 528,0 | 15317 | 926,0 | 15156 | 22 |
| 23 | 316,0 | 5068 | 564,0 | 23645 | 813,0 | 36692 | 952,0 | 15271 | 489,0 | 13587 | 978,0 | 8794 | 23 |
| 24 | 267,0 | 3561 | 547,0 | 23732 | 813,0 | 36692 | 978,0 | 19312 | 462,0 | 12305 | 1010,0 | 10993 | 24 |
| 25 | 202,0 | 1985 | 500,0 | 19344 | 810,0 | 36409 | 1010,0 | 14462 | 445,0 | 12092 | 1060,0 | 12703 | 25 |
| 26 | 157,0 | 1171 | 533,0 | 33321 | 810,0 | 36409 | 1090,0 | 29030 | 431,0 | 10946 | 1020,0 | 9154 | 26 |
| 27 | 132,0 | 2774 | 442,0 | 15127 | 819,0 | 37262 | 1130,0 | 21049 | 429,0 | 8982 | 978,0 | 9065 | 27 |
| 28 | 125,0 | 726 | 405,0 | 8959 | 816,0 | 36977 | 1170,0 | 14710 | 441,0 | 11526 | 946,0 | 7244 | 28 |
| 29 | 152,0 | 1094 | 381,0 | 8995 | 785,0 | 34095 | 1170,0 | 10081 | 0,0 | 0 | 926,0 | 8076 | 29 |
| 30 | 174,0 | 1452 | 348,0 | 8784 | 743,0 | 30386 | 1140,0 | 7396 | 0,0 | 0 | 908,0 | 12701 | 30 |
| 31 | 192,0 | 1785 | 0,0 | 0 | 715,0 | 28036 | 1100,0 | 7305 | 0,0 | 0 | 894,0 | 10865 | 31 |
| TOT | 6122,4 | 97822 | 11676,0 | 505980 | 20746,0 | 750475 | 27363,0 | 658287 | 21595,0 | 345914 | 23625,0 | 572955 | TOT |
| MED | 197,5 | 3156 | 389,2 | 16866 | 669,2 | 24209 | 882,7 | 21235 | 771,3 | 12354 | 762,1 | 18482 | MED |
| MAX | 412,0 | 9818 | 590,0 | 36956 | 819,0 | 37262 | 1170,0 | 64228 | 1070,0 | 15686 | 1060,0 | 46383 | MAX |
| MIN | 60,5 | 159 | 160,0 | 3841 | 328,0 | 9047 | 670,0 | 7305 | 429 | 6113 | 442,0 | 7244 | MIN |

| SUMÁRIO ANUAL | | | |
|---------------------------|----------|---------------------------|----------------------------|
| Transporte Total Anual | 3746731t | Deflúvio Total Anual | 13412 10**6 m ³ |
| Máximo Transporte Diário | 64228t | Transporte Médio Anual | 10265t/dia |
| Mínimo Transporte Diário | 87t | Escoamento Específico | 32 l/s/km ² |
| Máxima Concentração Anual | 1077mg/l | Contribuição de Sedimento | 282t/km ² .ano |
| Mínima Concentração Anual | | | |

g) Processamento de dados de observação eventual

Dados eventuais são medições periódicas efetuadas pelo hidrometrista dentro de um programa da entidade. Essas medições em geral são calculadas, no Brasil, conforme procedimento indicado neste Guia e listadas adequadamente por ordem cronológica. O processamento desses dados inclui o traçado da curva-chave de sedimento, determinação das equações e preparação dos boletins anuais de descarga sólida. Esses boletins são obtidos a partir do boletim de descargas líquidas médias diárias e das equações de sedimento.

O traçado da curva-chave de sedimento exige cuidados especiais, uma vez que a dispersão dos dados obtidos é grande. A uma mesma vazão a descarga sólida pode variar de 10 a 100 ou mais. Diversos fatores podem influir no traçado, sendo os principais derivados dos diversos fenômenos, como o processo da erosão, a variação sazonal, tempo entre o pique da concentração de sedimento e o pique da vazão, e os eventos extremos de enchentes. Em anos de cheias extremas, a produção de sedimentos pode ser muito grande, afetando a curva-chave. Dados insuficientes também afetam demais (Glysson, 1987).

Essas curvas podem ser traçadas para períodos sazonais ou de tempo. Normalmente são traçadas em escala bilogarítmica, podendo ser obtida uma reta interpolada

entre os pontos, ou mais retas, de acordo com a tendência dos pontos (Figura 4.43). Cuidado especial se deverá ter quando um grande número de pontos está concentrado em uma faixa de variação, o que matematicamente influenciará na direção da curva.

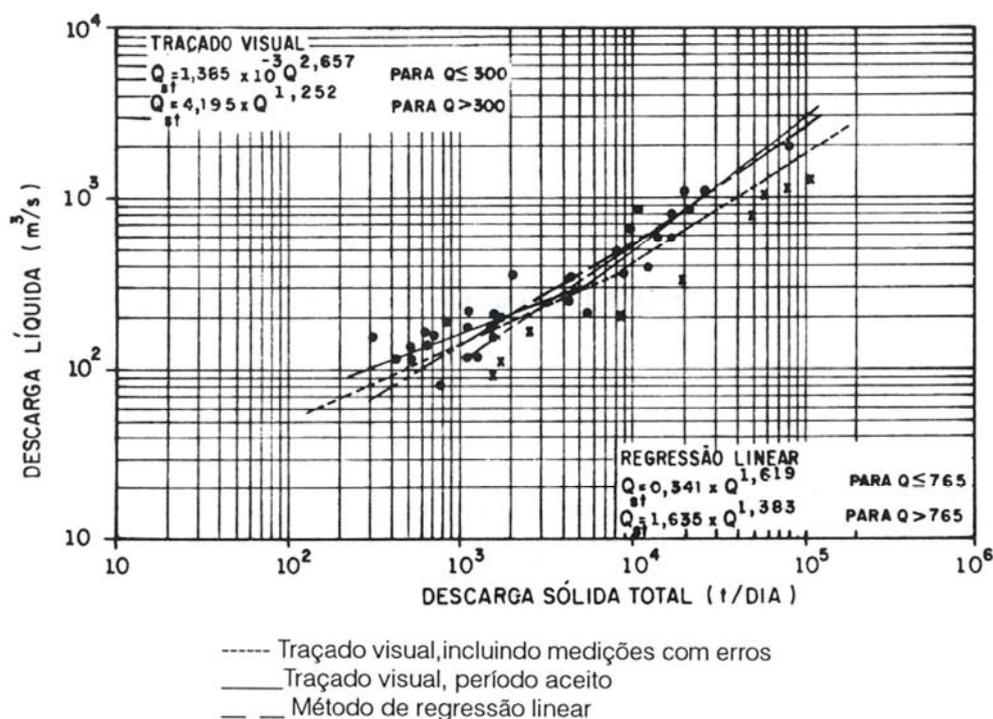


Figura 4.43 – Curva-chave de transporte de sedimentos do Rio Cuiabá em Cuiabá, medições do período de 1977 a 1981 (Carvalho, 1994).

Tendo-se a equação da curva-chave de sedimentos, podem-se, então, obter os boletins de descarga sólida para o período de validade da curva a partir dos boletins de vazões. Sendo os valores confiáveis, os resultados irão conduzir a parâmetros de confiança. A obtenção desses parâmetros é semelhante ao que foi mostrado na Tabela 4.17.

Para o estudo do assoreamento de um reservatório é comum se dispor das vazões médias mensais de longo período (Tabela 4.18), podendo-se utilizar a equação da curva-chave de sedimentos para obter as descargas sólidas totais ou em suspensão (médias mensais - Tabela 4.19).

Tabela 4.18 – Série de vazões naturais do Rio Manso em Porto de Cima (Carvalho, 1994).

Série de vazões naturais (m³/s).

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 31 | 191 | 256 | 259 | 195 | 129 | 92,8 | 65,7 | 61,5 | 47,3 | 161 | 162 | 184 | 150 |
| 32 | 232 | 217 | 333 | 149 | 111 | 104 | 72,3 | 93,3 | 58,5 | 109 | 121 | 228 | 152 |
| 33 | 369 | 355 | 190 | 250 | 114 | 83,4 | 70,5 | 61,6 | 66,2 | 71,7 | 96,8 | 166 | 158 |
| 34 | 200 | 308 | 333 | 215 | 108 | 81 | 67,5 | 54,2 | 90,5 | 77,2 | 102 | 238 | 156 |
| 35 | 360 | 439 | 371 | 440 | 180 | 114 | 94,2 | 83,5 | 73,6 | 90,1 | 134 | 190 | 214 |
| 36 | 215 | 198 | 245 | 123 | 91,1 | 70,7 | 60,9 | 53,2 | 50,9 | 55,4 | 117 | 183 | 122 |
| 37 | 200 | 195 | 239 | 313 | 118 | 91,5 | 67,9 | 55,3 | 53,2 | 82,1 | 114 | 170 | 142 |
| 38 | 258 | 218 | 255 | 172 | 91,3 | 74,2 | 60 | 51,1 | 75,8 | 72,8 | 76,7 | 169 | 131 |
| 39 | 146 | 342 | 149 | 129 | 87,7 | 68,9 | 58,3 | 49 | 45,6 | 82,7 | 157 | 255 | 131 |
| 40 | 366 | 375 | 397 | 225 | 149 | 93,8 | 80 | 69,6 | 65,8 | 82,1 | 108 | 128 | 178 |
| 41 | 265 | 287 | 212 | 178 | 88,7 | 72,9 | 59,9 | 56,2 | 50 | 78,6 | 116 | 121 | 132 |
| 42 | 144 | 356 | 545 | 262 | 122 | 95,1 | 82,9 | 68,3 | 74,3 | 86,3 | 105 | 120 | 172 |
| 43 | 393 | 262 | 527 | 264 | 95,1 | 90,3 | 79,5 | 66,5 | 64,3 | 115 | 249 | 233 | 203 |
| 44 | 157 | 256 | 213 | 168 | 91,5 | 75,7 | 59,7 | 49,2 | 44,4 | 77,5 | 206 | 176 | 131 |
| 45 | 320 | 568 | 429 | 416 | 155 | 113 | 95,1 | 79,8 | 72,2 | 89,5 | 144 | 220 | 225 |
| 46 | 241 | 449 | 359 | 205 | 143 | 96,3 | 83,5 | 68,7 | 59,6 | 73 | 126 | 173 | 173 |
| 47 | 211 | 290 | 272 | 279 | 134 | 88,8 | 70,9 | 84,9 | 63,9 | 179 | 154 | 225 | 171 |
| 48 | 203 | 288 | 294 | 168 | 94,4 | 77,3 | 82,8 | 53,8 | 80,2 | 161 | 198 | 290 | 166 |
| 49 | 360 | 479 | 296 | 156 | 119 | 99,2 | 89 | 81,4 | 77,3 | 102 | 119 | 242 | 185 |
| 50 | 282 | 266 | 505 | 330 | 132 | 106 | 93 | 83,9 | 78,1 | 107 | 149 | 193 | 194 |
| 51 | 365 | 227 | 293 | 217 | 117 | 100 | 84,9 | 77,6 | 74,9 | 88,6 | 120 | 197 | 164 |
| 52 | 231 | 283 | 428 | 267 | 123 | 101 | 89,5 | 80,8 | 80,2 | 82,2 | 102 | 186 | 171 |
| 53 | 218 | 320 | 342 | 219 | 123 | 95,6 | 85,7 | 77,8 | 91,7 | 95,8 | 101 | 201 | 164 |
| 54 | 183 | 353 | 380 | 241 | 159 | 108 | 92,4 | 83,3 | 84,1 | 88,4 | 156 | 129 | 171 |
| 55 | 371 | 244 | 320 | 351 | 136 | 109 | 93 | 84,3 | 77,7 | 92,8 | 99,6 | 164 | 179 |
| 56 | 234 | 241 | 227 | 258 | 186 | 124 | 98,8 | 86,8 | 88 | 100 | 225 | 287 | 180 |
| 57 | 308 | 410 | 379 | 294 | 138 | 113 | 100 | 87,8 | 99,6 | 122 | 183 | 215 | 204 |
| 58 | 234 | 338 | 215 | 264 | 154 | 88,5 | 99,2 | 63,3 | 72,2 | 158 | 187 | 287 | 180 |
| 59 | 380 | 305 | 502 | 229 | 155 | 119 | 103 | 93 | 87,1 | 99,9 | 151 | 128 | 196 |
| 60 | 396 | 581 | 343 | 354 | 175 | 120 | 105 | 93,2 | 85,4 | 105 | 175 | 201 | 228 |
| 61 | 345 | 411 | 346 | 168 | 146 | 106 | 93,7 | 84,3 | 81,8 | 98,1 | 110 | 126 | 176 |
| 62 | 306 | 292 | 207 | 161 | 104 | 94,2 | 81,1 | 76,7 | 80 | 83,3 | 91,6 | 261 | 153 |
| 63 | 251 | 381 | 218 | 145 | 103 | 85 | 77,1 | 68,7 | 64,8 | 66,9 | 114 | 96,2 | 139 |
| 64 | 146 | 179 | 165 | 106 | 87,9 | 59,7 | 52,8 | 47,4 | 43,8 | 104 | 154 | 158 | 109 |
| 65 | 226 | 312 | 396 | 229 | 124 | 91,1 | 78 | 65,9 | 60,8 | 94,9 | 96,8 | 141 | 160 |
| 66 | 115 | 387 | 178 | 110 | 88,9 | 70 | 59,8 | 53,8 | 53,7 | 83,7 | 94 | 97,4 | 116 |
| 67 | 124 | 237 | 224 | 196 | 115 | 74,6 | 60,8 | 52,8 | 49,5 | 61,9 | 96,1 | 119 | 118 |
| 68 | 129 | 449 | 296 | 116 | 91,7 | 72,6 | 62,3 | 60,1 | 67,7 | 90,4 | 78,1 | 212 | 144 |
| 69 | 267 | 198 | 184 | 118 | 95 | 67,6 | 58 | 51,2 | 49,5 | 76,7 | 107 | 129 | 117 |
| 70 | 171 | 380 | 382 | 141 | 106 | 77,7 | 66,4 | 56,7 | 57 | 79,3 | 81,6 | 109 | 142 |
| 71 | 125 | 169 | 186 | 108 | 85,8 | 68,8 | 58,7 | 53,3 | 56 | 91,8 | 131 | 152 | 107 |
| 72 | 171 | 378 | 161 | 138 | 86,9 | 74,2 | 67,2 | 60,2 | 57,3 | 76,9 | 110 | 255 | 136 |
| 73 | 277 | 217 | 140 | 139 | 113 | 73,1 | 64,4 | 59,1 | 60,5 | 84,5 | 193 | 164 | 132 |
| 74 | 297 | 254 | 714 | 353 | 151 | 106 | 85,4 | 76,2 | 75,4 | 106 | 96,7 | 180 | 208 |
| 75 | 240 | 302 | 210 | 293 | 156 | 110 | 92,8 | 70,9 | 71,3 | 79,5 | 228 | 239 | 174 |
| 76 | 172 | 380 | 312 | 196 | 160 | 117 | 84,2 | 74,2 | 81 | 111 | 144 | 218 | 171 |
| 77 | 414 | 408 | 225 | 231 | 151 | 106 | 81,6 | 73,7 | 77,6 | 92,1 | 126 | 248 | 186 |
| 78 | 386 | 222 | 333 | 169 | 123 | 99,3 | 80,8 | 71,9 | 78 | 109 | 119 | 451 | 187 |
| 79 | 569 | 455 | 428 | 284 | 168 | 110 | 93,5 | 80,6 | 86 | 86,7 | 91,4 | 209 | 222 |
| 80 | 453 | 647 | 492 | 209 | 136 | 99,7 | 85,9 | 72,4 | 79,3 | 79 | 103 | 265 | 227 |
| 81 | 451 | 279 | 411 | 219 | 141 | 116 | 98,1 | 87,6 | 85,1 | 111 | 165 | 214 | 198 |
| 82 | 397 | 436 | 395 | 292 | 142 | 112 | 96 | 91,4 | 111 | 98,4 | 116 | 143 | 202 |
| 83 | 330 | 381 | 248 | 193 | 116 | 106 | 86,7 | 79,6 | 77,9 | 101 | 234 | 417 | 198 |
| 84 | 249 | 268 | 253 | 233 | 172 | 107 | 88,7 | 89,4 | 96,6 | 108 | 136 | 342 | 179 |
| 85 | 498 | 267 | 365 | 252 | 146 | 102 | 89,9 | 82,2 | 87,1 | 114 | 100 | 116 | 185 |
| 86 | 348 | 338 | 267 | 134 | 129 | 84,6 | 76,4 | 77,8 | 82 | 91 | 98,2 | 315 | 170 |
| 87 | 273 | 230 | 269 | 256 | 130 | 91,3 | 76,3 | 69,8 | 68,3 | 84,9 | 127 | 289 | 164 |
| 88 | 404 | 351 | 363 | 252 | 130 | 99 | 83,4 | 75,3 | 74,1 | 83,5 | 108 | 162 | 182 |
| 89 | 199 | 266 | 220 | 148 | 111 | 103 | 100 | 98 | 97 | 101 | 112 | 144 | 142 |
| 90 | 242 | 359 | 336 | 185 | 113 | 99 | 93 | 90 | 92 | 95 | 110 | 151 | 164 |
| 91 | 352 | 610 | 578 | 299 | 210 | 186 | 170 | 159 | 166 | 216 | 114 | 137 | 266 |
| 92 | 284 | 297 | 301 | 274 | 218 | 187 | 177 | 172 | 178 | 194 | 213 | 280 | 231 |
| MED | 278 | 330 | 317 | 221 | 129 | 97,1 | 83,3 | 74,8 | 75,5 | 99,0 | 133 | 201 | 170 |
| MÁX | 569 | 647 | 714 | 440 | 218 | 187 | 177 | 172 | 178 | 216 | 249 | 451 | |
| MÍN | 115 | 169 | 140 | 106 | 85,8 | 59,7 | 52,8 | 47,4 | 43,8 | 55,4 | 76,7 | 96,2 | |

Tabela 4.19 – Descarga sólida total média mensal do Rio Manso em Porto de Cima (Carvalho, 1994).

| Descarga sólida total média mensal (t/dia). | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
| 31 | 2671 | 4783 | 4890 | 2814 | 992 | 432 | 181 | 153 | 79 | 1736 | 1763 | 2431 | 1910 |
| 32 | 3971 | 3500 | 7861 | 1428 | 679 | 576 | 230 | 438 | 135 | 649 | 844 | 3843 | 2013 |
| 33 | 9544 | 8871 | 2636 | 4573 | 727 | 330 | 216 | 154 | 184 | 226 | 481 | 1875 | 2485 |
| 34 | 3000 | 6783 | 7861 | 3439 | 634 | 307 | 194 | 111 | 406 | 272 | 549 | 4168 | 2310 |
| 35 | 9109 | 13252 | 9642 | 13309 | 2300 | 727 | 449 | 331 | 241 | 401 | 1092 | 2636 | 4457 |
| 36 | 3439 | 2925 | 4402 | 880 | 413 | 218 | 149 | 106 | 95 | 118 | 776 | 2398 | 1327 |
| 37 | 3000 | 2814 | 4201 | 6993 | 793 | 417 | 197 | 117 | 106 | 317 | 727 | 1991 | 1806 |
| 38 | 4854 | 3531 | 4748 | 2051 | 415 | 246 | 144 | 96 | 259 | 234 | 267 | 1962 | 1567 |
| 39 | 1356 | 8268 | 1428 | 992 | 375 | 204 | 134 | 86 | 72 | 323 | 1629 | 4748 | 1635 |
| 40 | 9398 | 9839 | 10958 | 3748 | 1428 | 444 | 297 | 209 | 182 | 317 | 634 | 973 | 3202 |
| 41 | 5106 | 5936 | 3349 | 2236 | 386 | 235 | 143 | 122 | 91 | 284 | 759 | 844 | 1624 |
| 42 | 1310 | 8919 | 19941 | 4997 | 862 | 460 | 325 | 200 | 247 | 360 | 590 | 827 | 3253 |
| 43 | 10751 | 4997 | 18715 | 5069 | 460 | 404 | 293 | 187 | 171 | 743 | 4539 | 4004 | 4194 |
| 44 | 1629 | 4783 | 3379 | 1932 | 417 | 259 | 142 | 87 | 67 | 274 | 3172 | 2173 | 1526 |
| 45 | 7291 | 21561 | 12687 | 11970 | 1577 | 711 | 460 | 295 | 230 | 395 | 1310 | 3592 | 5173 |
| 46 | 4267 | 13828 | 9061 | 3143 | 1287 | 475 | 331 | 202 | 141 | 236 | 935 | 2081 | 2999 |
| 47 | 3319 | 6054 | 5364 | 5627 | 1092 | 387 | 219 | 345 | 169 | 2268 | 1552 | 3748 | 2512 |
| 48 | 3086 | 5975 | 6213 | 1932 | 451 | 273 | 324 | 109 | 299 | 1736 | 2925 | 6054 | 2448 |
| 49 | 9109 | 15625 | 6293 | 1603 | 810 | 512 | 389 | 311 | 273 | 549 | 810 | 4301 | 3382 |
| 50 | 5742 | 5142 | 17267 | 7728 | 1052 | 605 | 435 | 335 | 280 | 619 | 1428 | 2742 | 3615 |
| 51 | 9349 | 3811 | 6173 | 3500 | 776 | 522 | 345 | 275 | 252 | 385 | 827 | 2888 | 2425 |
| 52 | 3939 | 5781 | 12631 | 5179 | 880 | 535 | 395 | 305 | 299 | 318 | 549 | 2498 | 2776 |
| 53 | 3531 | 7291 | 8268 | 3561 | 880 | 466 | 354 | 277 | 420 | 468 | 535 | 3028 | 2423 |
| 54 | 2398 | 8777 | 10089 | 4267 | 1682 | 634 | 428 | 329 | 337 | 382 | 1603 | 992 | 2660 |
| 55 | 9642 | 4368 | 7291 | 8683 | 1134 | 649 | 435 | 339 | 276 | 432 | 517 | 1818 | 2965 |
| 56 | 4036 | 4267 | 3811 | 4854 | 2498 | 898 | 506 | 365 | 378 | 522 | 3748 | 5936 | 2652 |
| 57 | 6783 | 11646 | 10039 | 6213 | 1176 | 711 | 522 | 376 | 517 | 862 | 2398 | 3439 | 3724 |
| 58 | 4036 | 8086 | 3439 | 5069 | 1552 | 384 | 512 | 165 | 230 | 1655 | 2532 | 5936 | 2800 |
| 59 | 10089 | 6659 | 17073 | 3875 | 1577 | 810 | 562 | 435 | 368 | 521 | 1476 | 973 | 3702 |
| 60 | 10906 | 22503 | 8313 | 8824 | 2142 | 827 | 590 | 437 | 351 | 590 | 2142 | 3028 | 5055 |
| 61 | 8405 | 11700 | 8451 | 1932 | 1356 | 605 | 443 | 339 | 314 | 497 | 664 | 935 | 2970 |
| 62 | 6700 | 6133 | 3202 | 1736 | 576 | 449 | 308 | 267 | 297 | 329 | 418 | 4961 | 2115 |
| 63 | 4608 | 10139 | 3531 | 1333 | 562 | 346 | 271 | 202 | 175 | 189 | 727 | 473 | 1880 |
| 64 | 1356 | 2268 | 1847 | 605 | 377 | 142 | 104 | 79 | 65 | 576 | 1552 | 1655 | 886 |
| 65 | 3779 | 6951 | 10906 | 3875 | 898 | 413 | 279 | 182 | 149 | 457 | 481 | 1242 | 2468 |
| 66 | 742,7 | 10443 | 2236 | 664 | 388 | 212 | 143 | 109 | 109 | 333 | 447 | 488 | 1360 |
| 67 | 898,2 | 4134 | 3716 | 2851 | 743 | 249 | 149 | 104 | 89 | 156 | 472 | 810 | 1198 |
| 68 | 992,4 | 13828 | 6293 | 759 | 420 | 233 | 158 | 144 | 195 | 405 | 280 | 3349 | 2255 |
| 69 | 5179 | 2925 | 2431 | 793 | 459 | 194 | 132 | 96 | 89 | 267 | 619 | 992 | 1181 |
| 70 | 2021 | 10089 | 10189 | 1242 | 605 | 276 | 186 | 125 | 126 | 291 | 313 | 649 | 2176 |
| 71 | 916,6 | 1962 | 2498 | 634 | 355 | 203 | 136 | 107 | 121 | 421 | 1032 | 1501 | 824 |
| 72 | 2021 | 9989 | 1736 | 1176 | 366 | 246 | 192 | 145 | 128 | 269 | 664 | 4748 | 1807 |
| 73 | 5551 | 3500 | 1220 | 1198 | 711 | 237 | 172 | 139 | 147 | 341 | 2742 | 1818 | 1481 |
| 74 | 6333 | 4713 | 33220 | 8777 | 1476 | 605 | 351 | 263 | 256 | 605 | 480 | 2300 | 4948 |
| 75 | 4234 | 6536 | 3290 | 6173 | 1603 | 664 | 432 | 219 | 222 | 293 | 3843 | 4201 | 2642 |
| 76 | 2051 | 10089 | 6951 | 2851 | 1709 | 776 | 338 | 246 | 307 | 679 | 1310 | 3531 | 2570 |
| 77 | 11862 | 11539 | 3748 | 3939 | 1476 | 605 | 313 | 242 | 275 | 424 | 935 | 4505 | 3322 |
| 78 | 10392 | 3654 | 7861 | 1962 | 880 | 513 | 305 | 227 | 279 | 649 | 810 | 13944 | 3456 |
| 79 | 21633 | 14179 | 12631 | 5819 | 1932 | 664 | 441 | 303 | 357 | 364 | 416 | 3260 | 5167 |
| 80 | 14062 | 27576 | 16436 | 3260 | 1134 | 518 | 356 | 231 | 291 | 288 | 562 | 5106 | 5818 |
| 81 | 13944 | 5627 | 11700 | 3561 | 1242 | 759 | 497 | 374 | 347 | 679 | 1847 | 3409 | 3666 |
| 82 | 10958 | 13081 | 10854 | 6133 | 1264 | 695 | 471 | 416 | 679 | 501 | 759 | 1287 | 3925 |
| 83 | 7728 | 10139 | 4505 | 2742 | 759 | 605 | 364 | 294 | 278 | 535 | 4036 | 12025 | 3667 |
| 84 | 4539 | 5216 | 4678 | 4004 | 2051 | 619 | 386 | 393 | 478 | 634 | 1134 | 8268 | 2700 |
| 85 | 16817 | 5179 | 9349 | 4643 | 1356 | 549 | 399 | 318 | 368 | 727 | 522 | 759 | 3416 |
| 86 | 8544 | 8086 | 5179 | 1092 | 992 | 342 | 265 | 277 | 316 | 411 | 499 | 7078 | 2757 |
| 87 | 5401 | 3907 | 5252 | 4783 | 1012 | 415 | 264 | 211 | 200 | 345 | 954 | 6015 | 2397 |
| 88 | 11326 | 8683 | 9253 | 4643 | 1012 | 509 | 330 | 255 | 245 | 331 | 634 | 1763 | 3249 |
| 89 | 2962 | 5142 | 3592 | 1404 | 679 | 562 | 522 | 496 | 483 | 535 | 695 | 1310 | 1532 |
| 90 | 4301 | 9061 | 7996 | 2464 | 711 | 509 | 435 | 400 | 423 | 459 | 664 | 1476 | 2408 |
| 91 | 8730 | 24673 | 22284 | 6414 | 3290 | 2498 | 1991 | 1682 | 1875 | 3470 | 727 | 1155 | 6566 |
| 92 | 5819 | 6333 | 6495 | 5438 | 3531 | 2532 | 2204 | 2051 | 2236 | 2778 | 3379 | 5666 | 4039 |
| TOT 10 ⁹ | 381 | 518 | 492 | 239 | 67 | 33 | 23 | 18 | 19 | 37 | 78 | 199 | 175 |
| MED | 6153 | 8356 | 7928 | 3861 | 1087 | 539 | 375 | 294 | 308 | 604 | 1254 | 3203 | 2830 |
| MÁX | 21633 | 27576 | 33220 | 13309 | 3531 | 2532 | 2204 | 2051 | 2236 | 3470 | 4539 | 13944 | |
| MÍN | 742,7 | 1962 | 1220 | 605 | 355 | 142 | 104 | 79 | 65 | 118 | 267 | 473 | |

h) Análise de erros e de consistência

A abordagem de estimativa da precisão de dados sedimentométricos é difícil devido às muitas fases necessárias para obtenção da descarga sólida, não tendo ainda sido estabelecida uma metodologia adequada para a análise de consistência. Erros podem ser devidos à má escolha do equipamento, ou equipamento defeituoso; erro de operação na amostragem; erro devido à medição da vazão que incidirá no cálculo e até na amostragem; erros de análise do sedimento, bem como erro na escolha da fórmula adequada no caso de descarga do leito ou total. Existem até mesmo os erros de colocação da vírgula ou do ponto

no resultado obtido. Erros acumulados podem resultar numa diferença significativa, comprometendo a qualidade dos dados. 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.

Segundo Burkham (1985), a precisão exigida para os diferentes usos dos dados sedimentométricos é diferente. Por exemplo, para estudos geomorfológicos é exigida somente uma ordem de grandeza do resultado, enquanto que na avaliação de impactos ambientais é necessário que a informação tenha precisão adequada para conduzir a estudos corretos.

Pouca quantidade de dados de sedimento, falando-se da frequência de operação, pode conduzir à obtenção de parâmetros inadequados. Dados de operação eventual devem cobrir toda a variação do nível d'água e vazão no posto, bem como abranger todo o período de estiagem e, principalmente, do período chuvoso. Parâmetros adequados de estudos são de primordial importância. Assim, pode-se chegar à conclusão que, mesmo tendo-se bons dados, se estes não foram obtidos com a frequência adequada, conduzirão a estudos corretos.

Alguns dos prováveis erros podem ser eliminados a partir de cuidados que as equipes de trabalho de campo e de laboratório devem ter. Por exemplo, os equipamentos devem ser testados antes da viagem, as amostras coletadas nas diversas verticais devem ter uma graduação coerente (uma subamostra com muito sedimento em relação às demais deve conduzir a outra amostragem naquela vertical), e assim por diante. Conclui-se que a eliminação da maior parte dos erros tem de ser feita através de medições cuidadosas no campo e no laboratório.

Durante o processamento dos dados, ao preparar uma curva-chave de sedimento 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 o seu exame, são os que deveriam ser descartados.

4.4.2 Disponibilização de dados (O caso da ANEEL)

Com a evolução do quadro legal e institucional da gestão dos recursos hídricos no Brasil, sobretudo com a atual regulamentação da Lei Federal nº 9.433, de janeiro de 1997, o gerenciamento de corpos hídricos por bacias hidrográficas tende a se intensificar. Com isso, o acesso às informações com qualidade, quantidade, rapidez e de fácil compreensão serão requisitos obrigatórios para subsidiar tecnicamente e agilizar os processos de tomada de decisão das entidades gestoras.

Parte-se do princípio que o valor estratégico da informação está em sua disponibilização à sociedade, o que dá transparência e legitimidade aos processos de tomada de decisão. Tratando-se a água como um insumo de grande importância para várias atividades econômicas, ao fornecer informações sobre este recurso natural, sem restrições, as opções de investimentos são democraticamente expostas, além de favorecer maior envolvimento e participação da sociedade na gestão destes recursos.

Como forma de tornar acessíveis os dados pluviométricos, fluviométricos, hidrossedimentométricos e de qualidade da água provenientes da rede hidrométrica gerenciada pela Aneel, está sendo desenvolvido um *site* (<http://hidroweb.aneel.gov.br>), já em operação em caráter experimental, onde toda a base de dados poderá ser adquirida por qualquer pessoa.

Outros meios de disponibilização de dados e informações constantemente utilizados pela Aneel são: publicações de livros e *cd-rom*; apresentações em eventos; *e-mails*; correio e telefone.

Além dos dados através de arquivos texto, a Aneel vem especializando os dados existentes com o uso de ferramentas de geoprocessamento, como forma de agilizar e simplificar a sua aquisição. O sistema se resume na exposição gráfica georreferenciada de estações e outros temas relevantes, facilitando a aquisição das informações via Internet, conforme interatividade oferecida ao usuário.

Com base, ainda, na idéia de visualização espacial da informação, a equipe técnica da SIH/Aneel propôs-se a apresentar resultados de cálculos relacionados ao comportamento espacial da descarga sólida nos principais rios brasileiros a partir da rede hidrossedimentométrica da Aneel. O sistema desenvolvido permite que usuário de informações hidrológicas tenha uma idéia pictórica do comportamento do fluxo de sedimentos, sobretudo do comportamento histórico das descargas sólidas. Esse sistema é denominado *Visualizador de Informações Georreferenciadas do Programa do Balanço Sedimentométrico do Brasil – VProbas*. Nele é possível listar informações referentes a todas as estações sedimentométricas da bacia escolhida pelo usuário, algumas usinas hidrelétricas estrategicamente escolhidas para a efetuação dos cálculos pela metodologia utilizada, e os polígonos oriundos da modelagem numérica de descarga de material sólido (Figura 4.43 e 4.44). As imagens representativas das bacias hidrográficas apresentam conexões ou links para as informações em forma de gráficos e tabelas. Esse sistema difere dos anteriores aqui descritos devido à não disponibilização *on-line* da informação bruta. Porém, as informações manipuladas, lá expostas, podem ser, a cargo do usuário, copiadas e/ou impressas. Esse estudo tem o intuito de contribuir para tomadas de decisões inerentes à avaliação de assoreamento de reservatórios e, para a Aneel, é imprescindível a manipulação e a avaliação de tais informações por parte do setor elétrico. Pretende-se incorporar outros métodos de cálculos a esse projeto, oferecendo à comunidade mais ferramentas para julgar suas iniciativas. Novos dados serão incorporados de outras redes sedimentométricas, de forma a refinar os resultados e melhorar sua representatividade espacial com o tempo. A partir daí, a utilização do geoprocessamento das informações referentes a descarga sólida em suspensão, acrescentado a outros parâmetros, tais como uso do solo, taxas de erosão, grau de antropismo, vegetação, geologia, modelo numérico de terreno, etc., poderá contribuir para a determinação inicial do problema, tanto da simulação espacial, como da fonte de sedimentos.

Consultas ao sistema podem ser direcionadas para o endereço internet <http://hidroweb.aneel.gov.br> (HIDROWEB). Neste “site” encontra-se uma pasta de documentos produzidos pela SIH / Aneel, sendo o estudo “Balanço Hidrossedimentométrico”, o acesso ao VProbas.

O “site” HIDROWEB é um aplicativo desenvolvido para facilitar o acesso ao banco de dados históricos da rede Aneel: Cotas, chuvas, vazões, qualidade da água e

concentração de sedimentos. Para estes, a equipe técnica da SIH está estruturando uma forma de disponibilizar as informações apoiado em mapas de localização de rios e das estações que estão em operação e que já foram operadas. Dessa forma, os usuários interessados apenas nos dados históricos sedimentométricos, e que necessitem de uma visualização espacial da localização do posto de medição e do curso do rio de interesse, poderão se orientar geograficamente a partir dos mapas “on-line” (Figura 4.45).

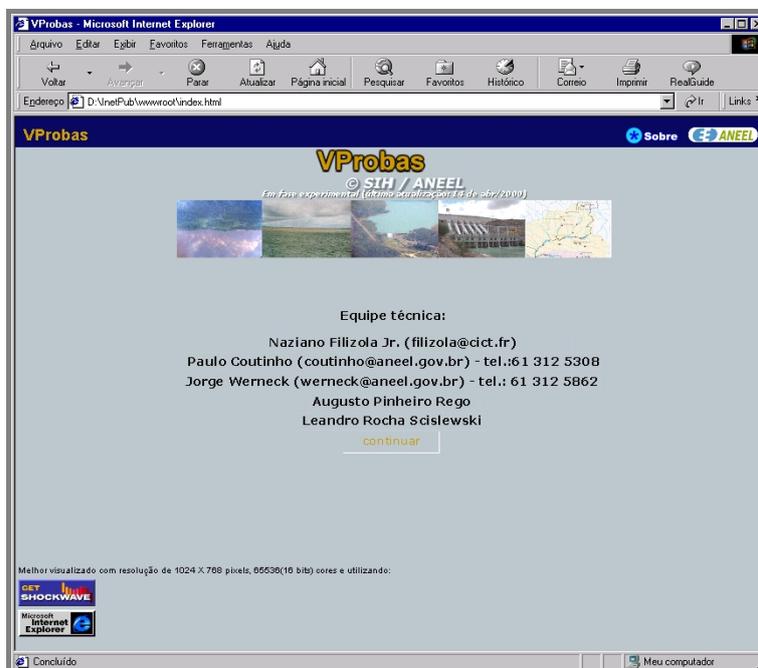


Figura 4.43 - Imagem de navegador expondo tela de apresentação do VProbas.

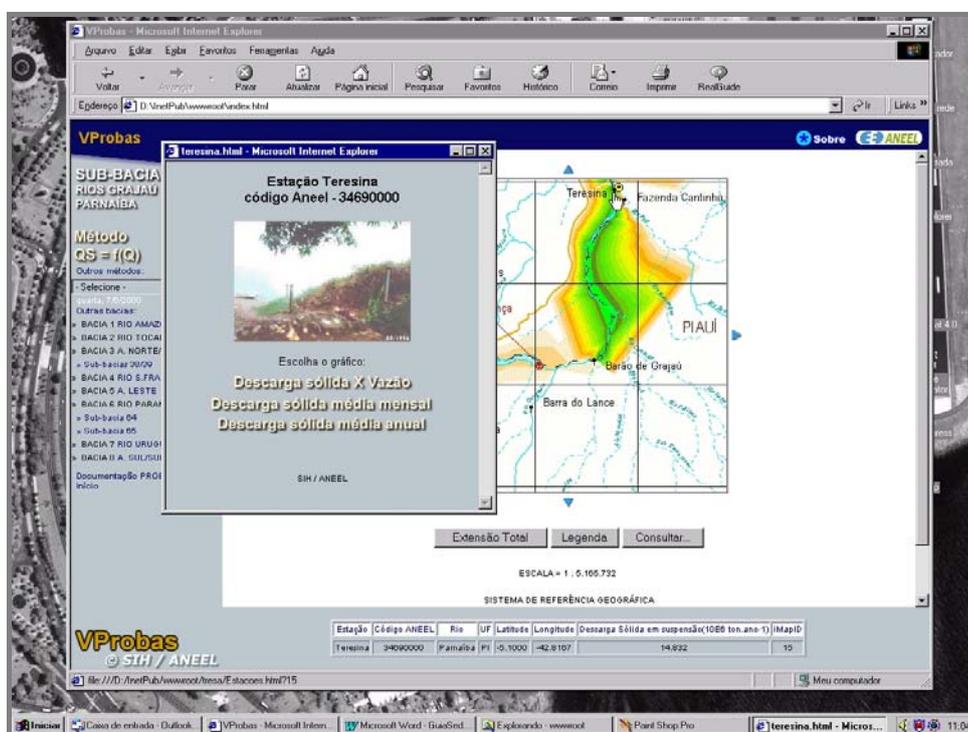


Figura 4.44 - Tela do V Probas expondo parte da Bacia do Rio Parnaíba. Observar cursor apontando para estação Teresina e seus respectivos dados tabulares no rodapé da página.

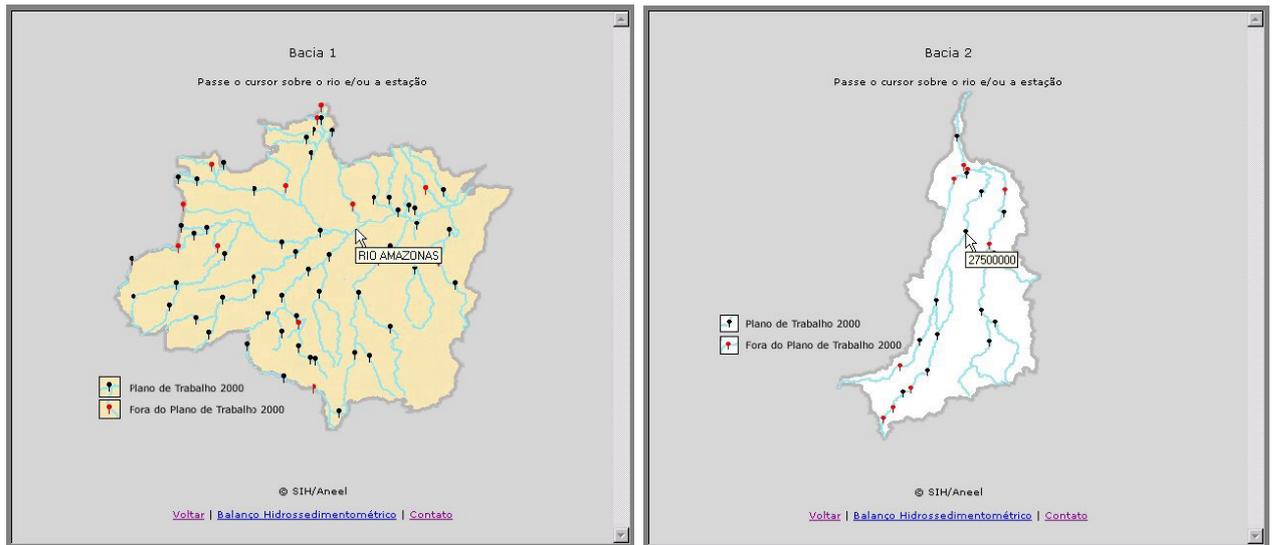


Figura 4.45 – Mapas de localização das estações sedimentométricas e rios referentes às bacias 1 e 2. Observar cursor sobre rio e estação, e seus respectivos atributos, nome e código.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARA CONSULTAS

- ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (1996). *Produção de sedimentos*. II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Comissão de Engenharia de Sedimentos. Rio de Janeiro, RJ.
- ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (1998). *Assoreamento de reservatório e erosão a jusante*. III Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Comissão de Engenharia de Sedimentos. Rio de Janeiro, RJ.
- AGRICULTURE, COMMERCE, DEFENSE, INTERIOR DEPARTMENTS, Independent Agencies Working Group: Work Group 3 on Sediment (1978). *National handbook of recommended methods for water-data acquisition sediment*. Washington, DC.
- ANNANDALE, G. W. (1987). *Reservoir sedimentation*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam.
- BERKE, Barnabás, e RÁKÓCZI, László (1981). *Latest achievements in the development of nuclear suspended sediment gauges*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.
- BOGARDI, János (1974). *Sediment transport in alluvial streams*. Akadémiai Kiadó. Budapest, Hungary.
- BRABEN, T.E. (1981). *Use of turbidity monitors to assess sediment yield in East Java, Indonesia*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.
- BRUK, Stevan (1985). *Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs*. UNESCO, IHP - II Project A.2.6.1. Paris.
- CARVALHO, Newton de Oliveira (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ.
- CHILDERS Jr, Dallas (1969). *Hydrology training manual. Number 3 - Collection of basic sediment data*. Ministry of Agriculture. Royal Government of Afghanistan. Kabul.
- COLBY, Bruce R. (1963). *Fluvial sediments - a summary of source, transportation, deposition, and measurement of sediment discharge*. USGS, Bulletin 1181-A. Washington, DC.
- CRICKMORE, M.J. & TEAL, J. (1981). *Recent developments in pump samplers for the measurement of sand transport*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.
- CSQA, Centro de Sedimentometria e Qualidade de Água (1999). *Catálogo de Serviços*. Belo Horizonte, MG.
- DEJIA, Zhou & DAORONG, Liu, & HAOCHUAN, Gao (1981). *The development of a sand bed load sampler for the Yangtze River*. Proceedings of the Florence Symposium, IAHS Publ. No. 133. Florence, Italy.
- DNAEE, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1977). *Manual para serviços de hidrometria*. Ministério das Minas e Energia. Brasil.
- DNAEE, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1970). *Normas e Recomendações Hidrológicas*. Ministério das Minas e Energia. Brasil.
- EDWARDS, Thomas K. & GLYSSON, G. Douglas (1988). *Field methods for measurement of fluvial sediment*. Open-file report 86-531. USGS. Reston, Virginia.
- EINSTEIN, Hans Albert. 1950. *The Bed-load function for sediment transportation in open channel flows*. US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Technical Bulletin no. 1026. Washington, DC.

- GROBLER, Dirk C. e WEAVER, A. Van B. (1981). *Continuous measurement of suspended sediment in rivers by means of a double beam turbidity meter*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.
- GUY, Harold P. & NORMAN, Vernon W. (1970). *Field methods for measurement of fluvial sediment. Book 3. Chapter C2*. USGS. Washington, DC.
- GUY, Harold P. (1969). *Laboratory theory and methods for sediment analysis. Book 5. Chapter C1*. USGS. Washington, DC.
- GUY, Harold P. and NORMAN, Vernon W. (1970). *Field methods for measurement of fluvial sediment. Book 3, Applications of Hydraulics*. USGS. Washington, DC.
- HIDROMECA (1999). *Catálogo de equipamentos*. Rio de Janeiro, RJ.
- HUBBELL, D. W. (1964). *Apparatus and techniques for measuring bedload*. US Geological Survey, WSP 1748. Washington, DC.
- IAHS/AISH, International Association of Hydrological Sciences (1981). *Erosion and sediment transport measurements*. Proceedings of the Florence Symposium 22-26 June 1981. Florence, Italy
- ICOLD, International Commission on Large Dams (1989). *Sedimentation control of reservoirs/Maitrise de l'alluvionnement des retenues*. Committee on Sedimentation of Reservoirs. Paris.
- JULIEN, Pierre Y. (1995). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- LELIAVSKY, Serge (1964). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Ediciones Omega S.A. Barcelona.
- MORRIS, Gregory L. & FAN, Jiahua (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-Hill. New York.
- NORDIN, Carl F. (1981). *Instructions for use of the 3-liter and 8-liter collapsible bag sampler*. Lakewood, CO, USGS.
- RICKLY Hydrological (1997). *Catalog W97. Ohio*.
- SCHAAFSMA, A.S. & DER KINDEREN, W.J.G.J. (1985). *Ultrasonic instruments for the continuous measurement of suspended sand transport*. Hydraulics Laboratory. Delft, The Netherlands.
- SHEN, Hsieh Wen (1972). *Sedimentation*. Symposium to Honor Professor H. A. Einstein. Colorado State University. Fort Collins, CO.
- SIMONS, Daryl B & SENTURK, Fuat (1977). *Sediment transport technology*. Colorado State University. Fort Collins, CO.
- SLOFF, C. J. (1997). *Sedimentation in reservoir. Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*. Faculty of Civil Engineering. Delft.
- STEVENS Jr., Herbert H. & HUBBELL, David H. (1986). *Computer programs for computing particle-size statistics of fluvial sediments*. Water Resources Investigations Report 86-4141. USGS.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1986). *Instruments and reports for fluvial sediment investigations. Catalog*. Federal Inter-Agency Sedimentation Project. Minneapolis, Minnesota.
- STRAND, Robert I. (1974). *Sedimentation*. Appendix H of Design Small Dams. US Bureau of Reclamation. Washington, DC.
- STEVENS Jr, Herbert H., and YANG, Chih Ted (1989). *Summary and use of selected fluvial sediment-discharge formulas*. USGS, Water Resources Investigations Report 89-4026. Denver, CO.

- STEVENS Jr, Herbert H. (1985). *Computer program for the computation of total sediment discharge by the modified Einstein procedure*. USGS, Water Resources Investigations Report 85-4047. Lakewood, CO.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1943). *A study of new methods for size analysis of suspended sediment samples, Report N° 7*. Inter-Agency Committee on Water Resources - University of Iowa. Iowa City.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963). *Determination of fluvial sediment discharge, Report No. 14* - Inter-Agency Committee on Water Resources - Minneapolis, Minnesota.
- SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION (1963). *Measurement of the sediment discharge of streams, Report 8* - Inter-Agency Committee on Water Resources - Iowa City, Iowa.
- TAZIOLI, Giulio Sergio (1981). *Nuclear techniques for measuring sediment transport in natural streams – examples from instrumental basins*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.
- USBR, Bureau of Reclamation. 1955. *Step method for computing total sediment load by the modified Einstein procedure*. Sedimentation Section, Hydrology Branch.
- VANONI, Vito A. (1977). *Sedimentation Engineering*. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY.
- WL Delft Hydraulics (1999). *Instruments. Catalog*. Deft, The Netherlands.
- WMO, World Meteorological Organisation. *Guide to Hydrological Practices*. WMO-No. 168. Editions of 1981 and 1994. Geneva.
- WMO, World Meteorological Organisation (1980). *Technical regulations*. WMO N° 555. Geneva, Switzerland
- YANG, Chih Ted (1996). *Sediment transport - Theory and practice*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- YUQIAN, Long (1989). *Manual on operational methods for the measurement of sediment transport*. WMO, World Meteorological Organisation. Geneva, Switzerland.
- ZHI, Lu, YUREN, Liu, LELING, Sun, XIANGLIN, Xu, YUJING, Yang e LINGQI, Kong (1981). *The development of nuclear sediment concentration gauges for use on the Yellow River*. Proceedings of the Florence Symposium. IAHS. Florence, Italy.

GLOSSÁRIO DE TERMOS, SÍMBOLOS E UNIDADES

AMOSTRA COMPOSTA - amostra formada pela combinação de todas as amostras individuais, ou subamostras, que pertencem a uma amostragem ou medição.

AMOSTRA DE INTEGRAÇÃO PONTUAL - mistura água-sedimento acumulada continuamente num amostrador colocado em um ponto relativamente fixo da seção de um rio que admite a mistura em velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em um ponto.

AMOSTRA POR INTEGRAÇÃO NA VERTICAL - mistura água-sedimento acumulada continuamente num amostrador que se move verticalmente quase em uma velocidade de trânsito constante, entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical.

AMOSTRADOR DE DESCARGA SÓLIDA DE FUNDO - equipamento para medição direta da descarga sólida de fundo, de uma parte ou de toda a largura do curso d'água.

AMOSTRADOR DE MATERIAL DO LEITO - equipamento para coletar uma amostra do sedimento do qual o leito é composto.

AMOSTRADOR DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO - amostrador que coleta uma amostra representativa da água com sua carga de sedimento em suspensão.

AREIA - partículas de sedimento com granulometria entre 0,062 e 2 mm pela classificação da AGU. De acordo com a ABNT, são partículas com a granulometria compreendida entre 0,05 a 4,8 mm.

ARGILA - partículas de sedimento menores que 0,004 mm pela classificação da AGU. De acordo com a ABNT, argila são partículas com granulometria inferior a 0,005mm.

CARGA DE CONTATO (Contact load) - partículas de sedimento que rolam ou deslizam longitudinalmente, estando quase em contato contínuo com o leito.

CARGA DE MATERIAL FINO ou CARGA DE LAVAGEM (Fine material load, wash load) - porção da carga total de sedimento que é composta de granulometria não presente em quantidades apreciáveis no sedimento do leito, consistindo de material mais fino que o do leito. Normalmente a carga de material fino é composta de partículas menores que 0,062mm, sendo porém função da carga que o rio transporta.

CARGA DE SEDIMENTO ou CARGA SÓLIDA (Sediment load) - sedimento transportado por um curso d'água (CARGA se refere ao material em si e não a quantidade que está sendo transportada).

CARGA DO LEITO (Bed load) - sedimento que se move por saltos, rolando ou deslizando, sobre ou próximo ao leito do curso d'água.

CARGA SÓLIDA SALTANTE (Saltation load) - sedimento que salta longitudinalmente no curso d'água pelo impacto do fluxo ou de outras partículas.

CARGA SÓLIDA TOTAL ou CARGA TOTAL (Total load) - sedimento total transportado por um curso d'água.

CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO - Peso seco dos sólidos contidos na mistura água-sedimento em relação ao volume da mistura (mg/l) ou em relação ao peso da mistura (ppm).

DENSIDADE DA MISTURA ÁGUA-SEDIMENTO - massa por unidade de volume, incluindo água e sedimento.

DESCARGA LÍQUIDA ou VAZÃO - quantidade de água que passa numa seção transversal de um curso d'água em um determinado tempo.

DESCARGA SÓLIDA ou DESCARGA DE SEDIMENTO - quantidade de sedimento que é transportada passando em uma seção transversal de um curso d'água numa unidade de tempo. A descarga sólida pode estar limitada, ou se referir, a certa granulometria de sedimento ou ser considerada numa parte específica da seção transversal, devido a carga em suspensão, do leito ou de um segmento da seção.

DESCARGA SÓLIDA DO LEITO (comumente dita como descarga sólida de arrasto) - quantidade de carga do leito passando em uma seção transversal na unidade de tempo.

DESCARGA SÓLIDA DE MATERIAL DO LEITO - quantidade de sedimento passando numa seção transversal correspondente a partículas do material do leito que estejam se movimento tanto no leito quanto em suspensão.

DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO - quantidade de sedimento em suspensão passando numa seção transversal de um curso d'água numa unidade de tempo.

DESCARGA SÓLIDA NÃO MEDIDA - a quantidade de sedimento em suspensão que o amostrador não teve condições de amostrar.

DESCARGA SÓLIDA TOTAL - descarga sólida total de um curso d'água. Inclui a descarga em suspensão medida, a descarga em suspensão não medida e a descarga do leito.

DIÂMETRO ou TAMANHO DA PARTÍCULA - dimensão linear usada para caracterizar o tamanho de uma partícula. O diâmetro pode ser determinado por diferentes técnicas, incluindo sedimentação, peneiramento, medidas micrométricas ou medidas diretas.

INTEGRAÇÃO PONTUAL - método que permite obter uma amostra que representa a concentração média de sedimento na vazão do rio, passando em um ponto durante o tempo de amostragem.

INTEGRAÇÃO VERTICAL ou EM PROFUNDIDADE - método que permite obter de uma amostra representativa da descarga água-sedimento de toda a vertical, exceto de uma pequena zona não amostrada próxima do leito.

LEITO ou FUNDO - leito ou fundo de um curso d'água, reservatório ou lago.

MATAÇÃO - partículas de sedimento com dimensões entre 4096 e 256mm pela classificação da AGU.

MATERIAL DO LEITO (*bed material*) - material componente do leito do rio, em geral formado de rochas fragmentadas.

PEDRA - partículas de sedimento entre 256 e 64mm pela classificação da AGU.

PEDREGULHO - partículas de sedimento entre 64 e 2mm pela classificação da AGU. De acordo com a ABNT, pedregulhos são partículas com granulometria entre 76 e 4,8mm.

PESO ESPECÍFICO DO SEDIMENTO - peso seco por unidade de volume do sedimento ou peso seco do sedimento em relação ao volume.

PRODUÇÃO DE SEDIMENTO ou DESCARGA SÓLIDA ESPECÍFICA ou CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTO ou RENDIMENTO SÓLIDO (*sediment yield*) - quantidade total de sedimento afluente de uma bacia hidrográfica ou de uma área de drenagem em um ponto de referência e em um período específico de tempo. É igual à descarga sólida em relação à área de drenagem.

SEDIMENTO EM SUSPENSÃO ou CARGA EM SUSPENSÃO (*suspended load*) - sedimento que é suportado por componentes ascendentes de correntes turbulentas e que permanece em suspensão por apreciável duração de tempo.

SEDIMENTO FLUVIAL - todo o material sólido transportado pela água do rio, que tenha uma densidade média aproximada à das rochas fragmentadas: 2,65.

SILTE - partículas de sedimento com granulometria entre argila e areia (0,004 a 0,062 mm pela AGU ou 0,005 a 0,05 mm segundo a ABNT).

VELOCIDADE DE TRÂNSITO ou DE PERCURSO - velocidade em que o amostrador de sedimento em suspensão é mergulhado numa amostragem por integração na vertical.

VERTICAL DE AMOSTRAGEM ou simplesmente VERTICAL - uma linha aproximadamente vertical, desde a superfície d'água ao leito, onde são tomadas amostras para definir a concentração ou a granulometria do sedimento.

ZONA NÃO AMOSTRADA - distância do bico do amostrador ao fundo do rio numa vertical de amostragem, e que não é amostrada; parte da seção transversal que não é coberta pela amostragem do sedimento.

Classificação do sedimento de acordo com a granulometria pela AGU, American Geophysical Union (Classificação de Wentworth)

| Classe Granulométrica | Milímetro | Mícron | Pés | Tyler Standard | US Standard |
|--------------------------------|------------------|---------------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| | (mm) | (μ) | (in) | (diâmetro da peneira) | (diâmetro da peneira) |
| <i>Matacão</i> muito grande | 4096 – 2048 | | 160 - 80 | | |
| <i>Matacão</i> grande | 2048 – 1024 | | 80 - 40 | | |
| <i>Matacão</i> médio | 1024 - 512 | | 40 - 20 | | |
| <i>Matacão</i> pequeno | 512 - 256 | | 20 - 10 | | |
| <i>Pedra</i> grande | 256 – 128 | | 10 - 5 | | |
| <i>Pedra</i> pequena | 128 - 64 | | 5 - 2.5 | | |
| <i>Pedregulho</i> muito grosso | 64 – 32 | | 2.5 - 1.3 | | |
| <i>Pedregulho</i> grosso | 32 – 16 | | 1.3 - 0.6 | | |
| <i>Pedregulho</i> médio | 16 - 8 | | 0.6 - 0.3 | 2 - ½ | |
| <i>Pedregulho</i> fino | 8 – 4 | | 0.3 – 0.16 | 5 | 5 |
| <i>Pedregulho</i> muito fino | 4 – 2 | | 0.16 - 0.08 | 9 | 10 |
| <i>Areia</i> muito grossa | 2.000 - 1.000 | 2000 - 1000 | | 16 | 18 |
| <i>Areia</i> grossa | 1.000 - 0.500 | 1000 - 500 | | 32 | 35 |
| <i>Areia</i> média | 0.500 - 0.250 | 500 - 250 | | 60 | 60 |
| <i>Areia</i> fina | 0.250 - 0.125 | 250 - 125 | | 115 | 120 |
| <i>Areia</i> muito fina | 0.125 - 0.062 | 125 - 62 | | 250 | 230 |
| <i>Silte</i> grosso | 0.062 - 0.031 | 62 - 31 | | | |
| <i>Silte</i> médio | 0.031 - 0.016 | 31 - 16 | | | |
| <i>Silte</i> fino | 0.016 - 0.008 | 16 - 8 | | | |
| <i>Silte</i> muito fino | 0.008 - 0.004 | 8 - 4 | | | |
| <i>Argila</i> grossa | 0.004 - 0.0020 | 4 - 2 | | | |
| <i>Argila</i> média | 0.0020 - 0.0010 | 2 - 1 | | | |
| <i>Argila</i> fina | 0.0010 - 0.0005 | 1 - 0.5 | | | |
| <i>Argila</i> muito fina | 0.0005 - 0.00024 | 0.5 - 0.24 | | | |
| <i>Colóide</i> | < 0.00024 | < 0.24 | | | |

Nota: Em alguns países, inclusive o Brasil, é adotada a Classificação de Atterberg -

Pedregulho: 76 - 4.8 mm
Areia: 4.8 - 0.05 mm
Silte: 0.05 - 0.005 mm
Argila: < 0.005 mm

Símbolos e unidades recomendadas para estudo de transporte de sedimentos em cursos d'água (WMO, 1980)

| Elemento | Símbolo | Unidade | Observação |
|---|----------------|--|---|
| Aceleração devido a gravidade | g | $m\ s^{-2}$ | ISO |
| Área (seção transversal) | A | m^2 | ISO |
| Área (área de drenagem) | A | km^2 | ISO (ha também em uso) |
| Coefficiente de Chézy [$v(R_h S)^{1/2}$] | C | $m^{1/2} s^{-1}$ | ISO |
| Conveyance (coeficiente) | K | $m^3 s^{-1}$ | ISO |
| Densidade | ρ | $kg\ m^{-3}$ | ISO |
| Profundidade, diâmetro | D | m | ISO |
| Espessura | | cm | |
| Descarga (escoamento de rio) | Q | $m^3\ s^{-1}$ | ISO |
| (por unidade de área $Q\ A^{-1}$, ou parcial) | Q | $m^3\ s^{-1}\ km^{-2}$ $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ | ISO |
| Viscosidade cinemática | ν | $m^2\ s^{-1}$ | ISO |
| Comprimento | L | cm | ISO |
| | | m | |
| | | km | |
| Coefficiente de Manning $= R_h^{2/3} S^{1/2} \nu^{-1}$ | N | $s\ m^{-1/3}$ | ISO |
| Massa | M | kg | ISO |
| Concentração de sedimento | C_s | g $mg\ l^{-1}$ $kg\ m^{-3}$ | Ou ppm Também em uso $g\ m^{-3}$ |
| Descarga de sedimento (ou sólida) | Q_s | $t\ d^{-1}$ | |
| Tensão de cisalhamento | τ | Pa | ISO |
| Declividade (hidráulica, bacia) | S | Número sem Dimensão | ISO |
| Temperatura | θ | $^{\circ}C$ | ISO |
| | t | | |
| Sólidos totais dissolvidos | M_d | $mg\ l^{-1}$ | (para solução diluída) ppm também em uso |
| Velocidade (água) | v | $m\ s^{-1}$ | ISO |
| Volume | V | m^3 | ISO |
| Perímetro molhado | P_w | m | |
| Largura (seção transversal, bacia) | B | m km | ISO |

ANEXO

ANEXO – 1

AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO PELOS MÉTODOS *IIL* E *IID* NO POSTO DO RIO IGUAÇU EM PORTO AMAZONAS

- *Estudo de caso* -

INTRODUÇÃO

Amostragem de sedimento em suspensão em rios é parte dos procedimentos para obtenção da descarga sólida, sendo realizada num posto fluviométrico.

O transporte de sedimento num curso d'água é um fenômeno complexo, o que torna os procedimentos de medida dependentes dos métodos de amostragem, do equipamento a ser utilizado e da distribuição de sedimentos ao longo da seção transversal. As amostras coletadas devem ser enviadas ao laboratório para análises de concentração e, se necessário, também de granulometria. A amostragem correta deve levar em consideração a quantidade da mistura água-sedimento necessária para realização de boa análise. Considerando que cada método de análise tem sua restrição em relação à quantidade de sedimento disponível na amostra coletada, é necessário que o hidrometrista faça uma amostragem considerando o volume adequado a ser enviado ao laboratório.

Este artigo apresenta uma medição para exemplificar a prática dos métodos de coleta por *igual incremento de largura*, *IIL*, e por *igual incremento de descarga*, *IID*, utilizados regularmente para amostragem de sedimento em suspensão nos rios. São usados na medida indireta da descarga sólida em suspensão quando não interessa o conhecimento da distribuição de sedimentos ao longo da seção. Estes métodos permitem a obtenção de concentração média na seção transversal a partir de uma só análise no laboratório. Também permite uma só análise para determinação da distribuição granulométrica média na seção.

POSTO FLUVIDIMENTOMÉTRICO

O posto está localizado no Rio Iguaçu em Porto Amazonas, bacia do Paraná, no Estado do Paraná, estando codificado como 6503 5000. Pertence a Aneel, estando em operação pela SUDERHSA e pela COPEL, com medições regulares de níveis d'água, sedimentos, parâmetros de qualidade d'água, contando com equipamentos registradores e de telemetria. Próximo a localidade existe uma estação evaporimétrica completa em operação. Está em funcionamento desde agosto de 1935, inicialmente com medida de níveis e vazões, tendo área de drenagem de 3.662km² e coordenadas de 25°33'00" S e 49°53'00" W.

EQUIPAMENTO UTILIZADO NA AMOSTRAGEM

Considerando as baixas profundidades na seção, menores que 4,5m, foi utilizado o amostrador DH-59, operado em guincho, montado adequadamente numa canoa. Esse amostrador é do tipo leve, da série norte-americana, de coleta por integração na vertical. A

medição de descarga líquida foi realizada com um molinete hidrométrico antes do processo de amostragem.

PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

Duas amostragens de sedimento em suspensão foram realizadas, de modo que a primeira foi realizada pelo método IIL, igual incremento de largura, e a segunda por IID, igual incremento de descarga.

Em ambos os métodos o procedimento de coleta da mistura água-sedimento numa vertical é feita pelo movimento do amostrador ao longo da vertical desde a superfície, numa viagem de ida e volta, utilizando velocidade constante durante o processo. O amostrador estando na superfície é movimentado numa velocidade constante, sendo levantado imediatamente após tocar o fundo e a subida ser com velocidade diferente daquela de descida, não podendo haver paradas para garantir o tempo de amostragem. Muito cuidado deve-se ter para não apanhar sedimento do leito no processo, devendo-se examinar a garrafa no final da operação e recusar a amostra se isto acontecer.

No método por integração na vertical duas regras devem ser seguidas: Primeira, se estiver utilizando uma garrafa, esta não deve encher mais que 4/5 da sua capacidade (~400ml) para obtenção da amostra representativa; segundo, para garantir a posição horizontal do bico é necessário descer ou levantar o amostrador naquela vertical em uma velocidade de trânsito uniforme, numa razão v_t máxima em relação à velocidade média v_m . Cada bico tem sua própria constante v_t , sendo:

- Para bico de 1/8", a razão máxima é 0,2:

$$\frac{v_t}{v_m} = 0,2 \quad \text{então} \quad v_t = 0,2.v_m \quad (1)$$

- Para bicos de 3/16" e de 1/4", a razão máxima é 0.4:

$$\frac{v_t}{v_m} = 0,4 \quad \text{então} \quad v_t = 0.4.v_m \quad (2)$$

Para obtenção do tempo mínimo de amostragem, usam-se as seguintes equações em uma viagem de ida e volta, calculando com a profundidade p_m da posição de amostragem:

- Para bico de 1/8", o tempo mínimo de amostragem é:

$$t_{\min} = \frac{2.p_i}{v_t} = \frac{2.p_i}{0.2.v_m} \quad (3)$$

- Para bicos de 3/16" e de 1/4", o tempo mínimo de amostragem é:

$$t_{\min} = \frac{2.p_i}{v_t} = \frac{2.p_i}{0.4.v_m} \quad (4)$$

Na medição de descarga sólida é necessário realizar a medida da descarga líquida. Então os valores da profundidade média p_m e da velocidade média v_m são facilmente obtidas dos cálculos da vazão feitas na ocasião.

Igual incremento de largura

É o método mais utilizado para amostragem da mistura água-sedimento devido a sua simplicidade. No método IIL a seção transversal é dividida em uma série de verticais igualmente espaçadas. Em cada uma executa-se o método de integração na vertical (IVT, igual velocidade de trânsito), utilizando sempre a mesma velocidade de trânsito em todas elas. Coletam-se diferentes volumes, sendo estes cada vez menores de acordo com a redução das velocidades e das profundidades.

Para obter as amostras adequadamente, primeiro efetua-se a medição da descarga líquida também em iguais incrementos de largura e calcula-se essa descarga ou, pelo menos, as velocidades médias; segundo, escolhe-se a vertical que apresenta maior velocidade média, geralmente no talvegue do rio (se a seção for irregular é melhor obter a vertical com o maior produto *profundidade x velocidade média*); terceiro, faz-se uma amostragem nessa posição por integração na vertical, utilizando um tempo mínimo calculado pelas equações (3) ou (4) para obtenção de subamostra, de tal forma a encher a garrafa até a capacidade de 4/5; as outras subamostras devem ser coletadas utilizando a mesma velocidade de trânsito obtida para o volume de 4/5, podendo-se calcular pela proporção com o tempo utilizado nessa amostragem experimental. Se a seção for regular, cada tempo de amostragem nas outras verticais pode ser obtido através de regra de três entre as profundidades e o tempo. Se a seção for irregular, é melhor calcular a nova velocidade de trânsito pela equação (5) abaixo e os novos tempos com (3) e (4). Uma vez escolhido o bico, não se deve trocar durante a medição.

$$v_t = \frac{2 \cdot p_i}{t} \quad (5)$$

Tais subamostras podem ser combinadas numa só amostra para determinação da concentração e da granulometria. Neste método 10 a 20 verticais podem ser escolhidas para amostragens.

Igual incremento de descarga

No método IID, a área da seção transversal é dividida lateralmente em segmentos representando iguais incrementos de descarga para que seja feita a amostragem, dividindo cada incremento em duas porções iguais. Para esta amostragem é necessário primeiramente efetuar a medição da descarga líquida e calculá-la. A partir desta medição, faz-se um gráfico usando as porcentagens acumuladas de descarga em ordenadas e as distâncias em abscissas. Então, escolhem-se as verticais a serem amostradas no eixo das ordenadas divididas em número de verticais desejadas, e obtém-se as distâncias de amostragens no eixo das abscissas pela interseção com o gráfico desenhado. Tendo-se também desenhado a seção transversal e a distribuição de velocidades médias, podem-se obter as profundidades de amostragem e as velocidades em cada vertical de coleta. Em cada posição obtém-se a subamostra por integração na vertical utilizando as equações acima indicadas. A regra seguinte neste método é que se deve obter volumes iguais em todas as garrafas, enchendo-

se até 4/5. Pode-se, então, para cada vertical utilizar velocidades de trânsito diferentes e trocar os bicos.

Praticamente isto pode ser feito pela medida e cálculo da descarga líquida, utilizando um molinete, em um número de verticais maior que o usual, qual seja, 35 a 40 verticais. Divide-se a vazão total pelo número de verticais desejadas, por exemplo, $100\text{m}^3\text{ s}^{-1} / 10$ verticais, igual a $10\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ que é o valor do incremento a ser amostrado. A primeira subamostra é feita na posição de $5\text{m}^3\text{.s}^{-1}$, próximo a metade da porção de $10\text{m}^3\text{.s}^{-1}$, obtendo-se esta posição das notas de medição da descarga pela acumulação das descargas parciais. Para a posição da próxima vertical somam-se $10\text{m}^3\text{.s}^{-1}$ igual a $25\text{m}^3\text{.s}^{-1}$, ou próximo desta posição, e assim por diante. Em cada vertical é usado o bico adequado àquela velocidade da corrente e profundidade, calculando o tempo mínimo de amostragem pelas equações (3) e (4). As diversas subamostras devem apresentar volumes iguais em cada vertical.

Tais subamostras podem ser combinadas numa só amostra composta da seção para determinação da concentração e da granulometria. Neste método 5 a 10 verticais podem ser escolhidas para serem amostradas.

Amostragem em Porto Amazonas

A Tabela 1 apresenta a medição da descarga líquida com molinete hidrométrico realizada no Rio Iguazu em Porto Amazonas no dia 4 de Junho de 1997.

Os pontos de medida de velocidade da corrente em cada vertical foram escolhidos a 0,2 e 0,8 da profundidade total para simplificar o presente exemplo. Os cálculos da vazão foram feitos pelo método da meia seção (Buchanan & Somers, 1969).

Amostragem por III

Em Porto Amazonas a medição de descarga líquida foi realizada com posições a cada 2,00m totalizando 35 verticais, conforme mostra a planilha do campo anexo. As verticais de amostragem de sedimento em suspensão foram escolhidas a cada 6,00m, totalizando 11 subamostras (ver posições X indicadas). A maior velocidade média entre essas posições de amostragem é $0,646\text{m s}^{-1}$, na vertical 15 e distância 30,00m, que foi escolhida para coleta inicial, apesar da seção ser irregular e não sendo completamente adequada para medições. Essa posição também corresponde ao maior produto *profundidade x velocidade média*. Escolhendo o bico de 3/16" para o amostrador DH-59 e calculando o tempo mínimo de amostragem t_{\min} , tem-se:

$$t_{\min} = \frac{2 \cdot p_i}{v_t} = \frac{2 \cdot p_i}{0.4 \cdot v_m} = \frac{2 \times 1,30}{0.4 \times 0.646} = \frac{2 \times 1,30}{0,258} = 10 \text{ segundos}$$

A coleta de cerca de 400cm^3 só foi possível com 34s que foi considerada a amostra padrão. A velocidade de trânsito correspondente a esse tempo foi calculada da seguinte forma:

$$v_t = \frac{2 \cdot p}{t} = \frac{2 \times 1,30}{34} = 0,0765 \text{ m s}^{-1}$$

Esta pode ser utilizada para obter os tempos de amostragem nas outras verticais. Esses tempos também podem ser calculados por regra de três, considerando o tempo da amostra padrão e as profundidades em cada vertical a ser amostrada. Esses tempos estão assinalados na planilha, sendo que a amostragem, na prática, pode ter sido feita com diferença de 1 ou 2 segundos. Apesar da má distribuição de vazão parcial na seção, os tempos calculados pelos dois processos foram equivalentes, com exceção de uma das verticais.

Amostragem por IID

A fim de obter as posições de coleta pelo método IID, é necessário desenhar o gráfico que traduza a distribuição percentual da vazão, conforme mostrado na Tabela 1 e nas figuras (gráficos) anexas obtidos conforme explicado anteriormente.

Tabela 1 – Rio Iguaçu em Porto Amazonas – Medição de descarga líquida e distribuição percentual na seção

| Abscissa – Distância | Vazão parcial | q / Q | Σ q / Q |
|-------------------------|-----------------------------------|-------|---------|
| (m) | (m ³ s ⁻¹) | (%) | (%) |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2,00 | 0,195 | 0,624 | 0,624 |
| 4,00 | 0,215 | 0,688 | 1,312 |
| 6,00 | 0,304 | 0,973 | 2,285 |
| 8,00 | 0,422 | 1,351 | 3,636 |
| 10,00 | 0,746 | 2,388 | 6,024 |
| 12,00 | 1,056 | 3,380 | 9,404 |
| 14,00 | 1,361 | 4,356 | 13,760 |
| 16,00 | 1,366 | 4,372 | 18,132 |
| 18,00 | 1,260 | 4,033 | 22,165 |
| 20,00 | 1,325 | 4,241 | 26,406 |
| 22,00 | 1,176 | 3,764 | 30,170 |
| 24,00 | 1,154 | 3,693 | 33,863 |
| 26,00 | 1,382 | 4,423 | 38,286 |
| 28,00 | 1,279 | 4,093 | 42,379 |
| 30,00 | 1,680 | 5,377 | 47,756 |
| 32,00 | 0,970 | 3,104 | 50,860 |
| 34,00 | 0,923 | 2,954 | 53,914 |
| 36,00 | 0,583 | 1,866 | 55,680 |
| 38,00 | 0,515 | 1,648 | 57,328 |
| 40,00 | 0,688 | 2,202 | 59,530 |
| 42,00 | 0,806 | 2,580 | 62,110 |
| 44,00 | 0,639 | 2,045 | 64,155 |
| 46,00 | 0,846 | 2,708 | 66,863 |
| 48,00 | 0,764 | 2,455 | 69,318 |
| 50,00 | 0,844 | 2,701 | 72,019 |
| 52,00 | 1,111 | 3,556 | 75,575 |
| 54,00 | 1,077 | 3,447 | 79,022 |
| 56,00 | 1,024 | 3,277 | 82,299 |
| 58,00 | 1,079 | 3,453 | 85,752 |
| 60,00 | 1,119 | 3,581 | 89,333 |
| 62,00 | 1,146 | 3,668 | 93,001 |
| 64,00 | 1,059 | 3,389 | 96,390 |
| 66,00 | 0,611 | 1,956 | 98,346 |
| 68,00 | 0,466 | 1,491 | 99,837 |
| 70,00 | 0,054 | 0,173 | 100,00 |
| 71,80 | 0,000 | 0,000 | 100,00 |
| Total | 31,245 | | |

Para obter 10 subamostras pelo critério de amostragem IID, procura-se ver no gráfico as abscissas, profundidades e velocidades dos pontos de 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95%. No serviço de campo é sempre difícil traçar esses gráficos, podendo-se desenhar as curvas de Lane conforme indica a Bibliografia consultada.

Praticamente isso pode ser feito, como antes indicado, pela divisão da descarga total por 10, sendo a primeira subamostra obtida na posição do meio do primeiro incremento de vazão. Na planilha estão indicados esses pontos. Assim, têm-se $31,409 / 10 = 3,140 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O primeiro ponto de amostragem fica na distância de $3,140 / 2 = 1,570 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, entre 8,00 e 10,00m, em 9,00m de abscissa, pelo valor da vazão até este ponto e; o segundo ponto na distância de $1,570 + 3,140 = 4,710 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e assim por diante. Todas essas posições estão indicadas na planilha. O técnico deve fazer a amostragem o mais próximo possível da posição, valendo-se do valor da vazão acumulada.

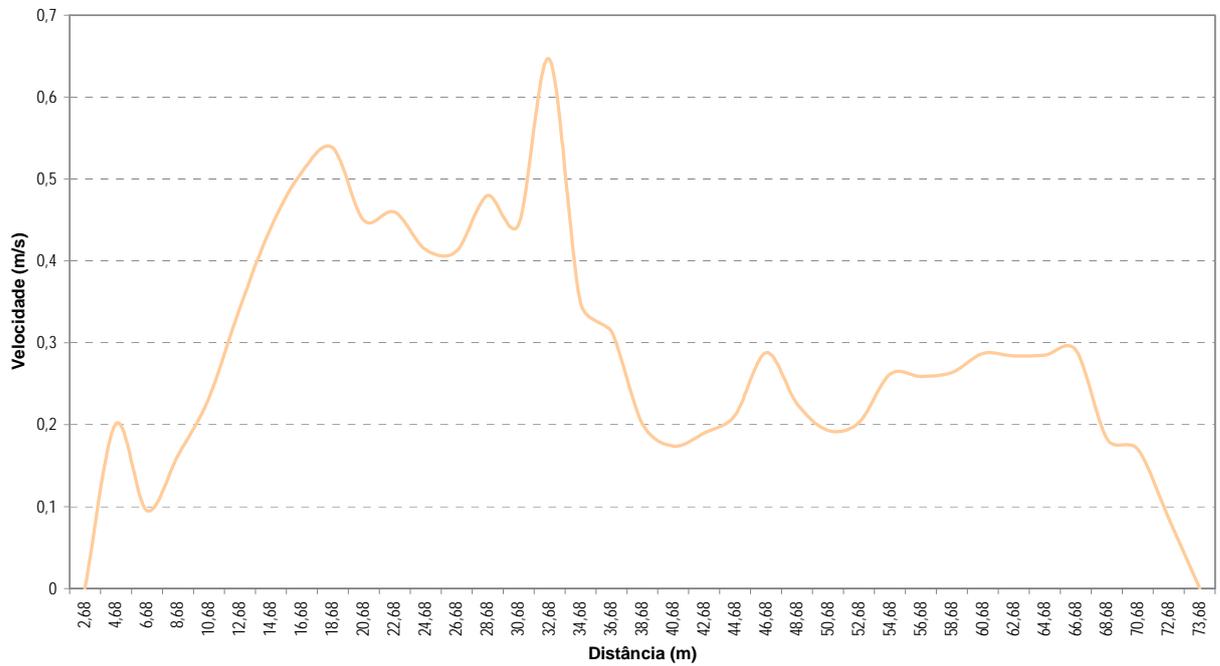
As dez subamostras obtidas podem ser encaminhadas ao laboratório para composição de uma só amostra para as análises necessárias.

BIBLIOGRAFIA

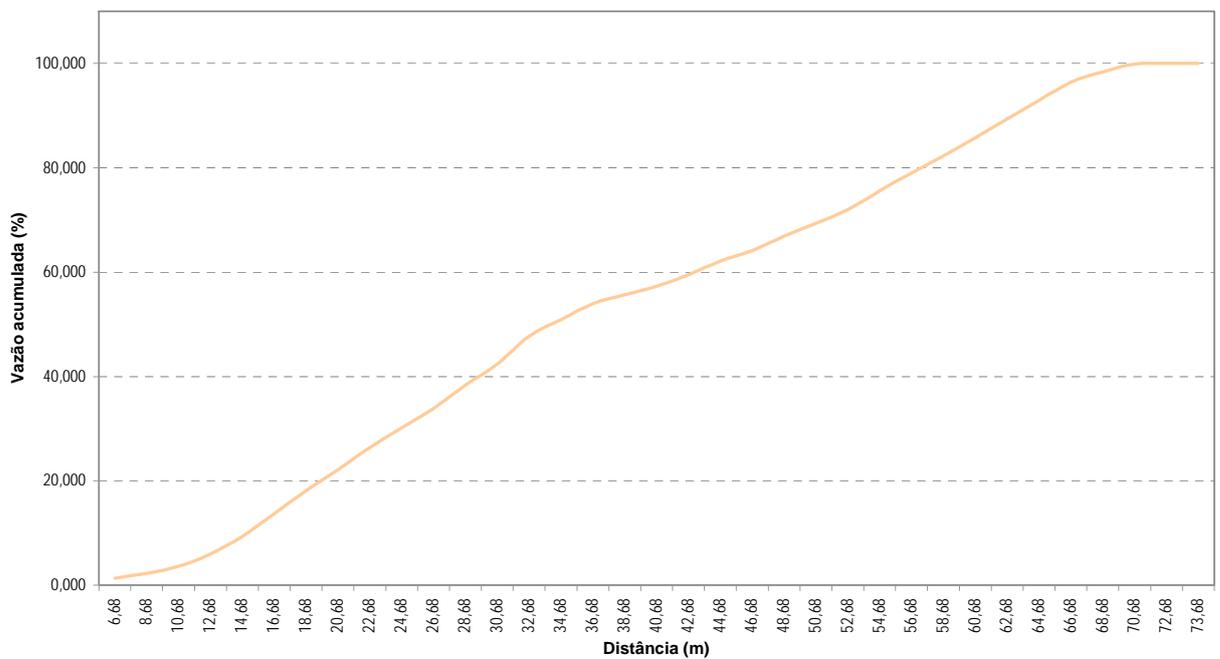
- BUCHANAN, Thomas J. & SOMERS, William P. (1969). *Discharge measurements at gauging stations*. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Chapter A8, Book 3. Washington, DC.

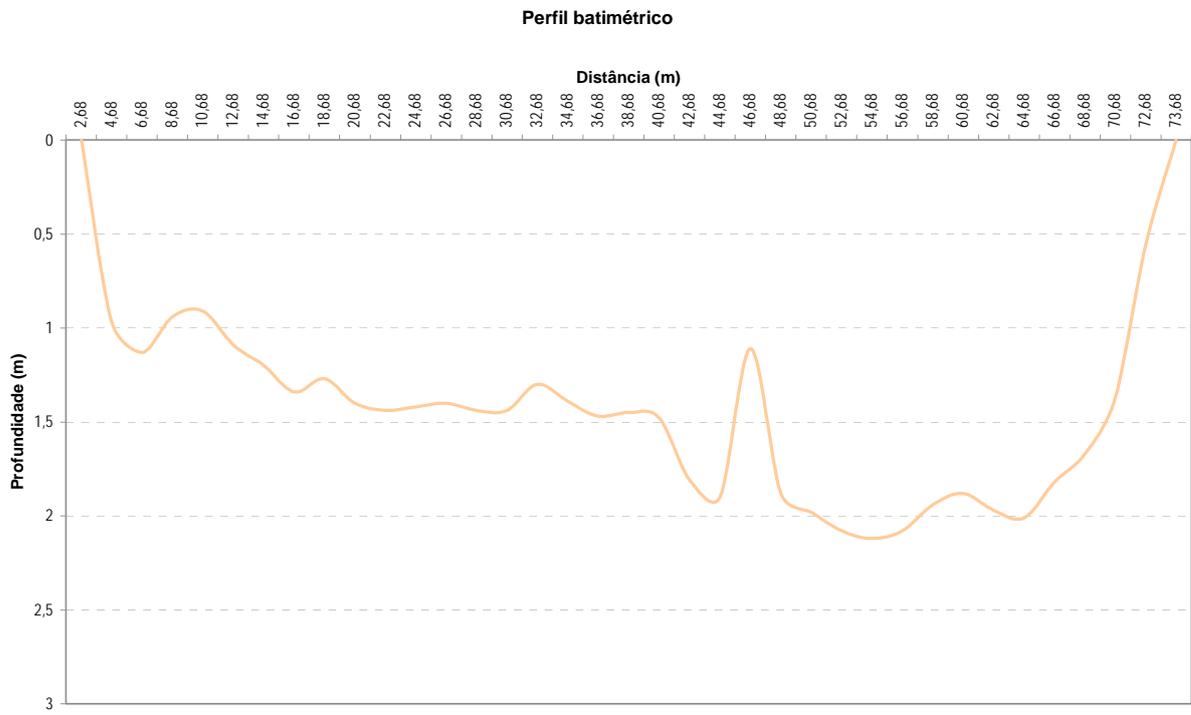
MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA E AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO, DIA 4 DE JUNHO DE 1997 – COTA = 1,09 M

Velocidade média



Distribuição de vazões da região





AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS PELOS MÉTODOS IIL E IID

Nome do posto: Rio Iguaçu em Porto Amazonas

Equipamento: Molinete IH-Hélice 6183

Nível d'água inicial: 1,09m

Código: 6503 5000 - Data: 04.06.1997

Equação: $V = 0,2587n + 0,0064$

Nível d'água final: 1,09m às 11h30

| Nº Vert | Absciss Dist. Do PI | Largura | Prof. Total | Posição do mol. | Velocid. no ponto | Velocidade média | Área parcial | Descarga parcial | Descarga parcial acumulad | q / Q | q / Q acumulada | Notas |
|---------|---------------------|---------|-------------|-----------------|----------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------|--|
| | | (m) | (m) | (m) | (m s ⁻¹) | (m/s) | (m ²) | (m ³ s ⁻¹) | (m ³ s ⁻¹) | % | % | |
| | PI = 0.0 | Ponto | Inicial | | | | | | | | | |
| | 2,68 | | 0,00 | | | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| 1 | 4,68 | 1,00 | 0,97 | 0,58 | 0,201 | 0,201 | 0,97 | 0,195 | 0,195 | 0,621 | 0,621 | |
| 2 | 6,68 | 2,00 | 1,13 | 0,90 0,23 | 0,143 0,047 | 0,095 | 2,26 | 0,215 | 0,410 | 0,685 | 1,306 | |
| 3 | 8,68 | 2,00 | 0,94 | 0,56 | 0,162 | 0,162 | 1,88 | 0,304 | 0,714 | 0,968 | 2,274 | IIL – 24 segundos |
| 4 | 10,68 | 2,00 | 0,91 | 0,55 | 0,232 | 0,232 | 1,82 | 0,422 | 1,136 | 1,344 | 3,618 | IID – 1,57 m ³ s ⁻¹ – 80 seg |
| 5 | 12,68 | 2,00 | 1,09 | 0,87 0,21 | 0,321 0,363 | 0,342 | 2,18 | 0,746 | 1,882 | 2,375 | 5,993 | |
| 6 | 14,68 | 2,00 | 1,20 | 0,96 0,24 | 0,428 0,453 | 0,440 | 2,40 | 1,056 | 2,938 | 3,362 | 9,355 | IIL – 31 segundos |
| 7 | 16,68 | 2,00 | 1,34 | 1,07 0,27 | 0,492 0,525 | 0,508 | 2,68 | 1,361 | 4,299 | 4,333 | 13,688 | |
| 8 | 18,68 | 2,00 | 1,27 | 1,02 0,25 | 0,526 0,551 | 0,538 | 2,54 | 1,366 | 5,665 | 4,349 | 18,037 | IID – 4,71 m ³ s ⁻¹ – 42 seg |
| 9 | 20,68 | 2,00 | 1,40 | 1,12 0,28 | 0,391 0,508 | 0,450 | 2,80 | 1,260 | 6,925 | 4,012 | 22,049 | IIL – 37 segundos |
| 10 | 22,68 | 2,00 | 1,44 | 1,15 0,29 | 0,432 0,488 | 0,460 | 2,88 | 1,325 | 8,250 | 4,219 | 26,268 | IID – 7,85 m ³ s ⁻¹ – 54 seg |
| 11 | 24,68 | 2,00 | 1,42 | 1,14 0,28 | 0,419 0,410 | 0,414 | 2,84 | 1,176 | 9,426 | 3,744 | 30,012 | |
| 12 | 26,68 | 2,00 | 1,40 | 1,12 | 0,361 | 0,412 | 2,80 | 1,154 | 10,580 | 3,674 | 33,686 | IIL – 37 segundos |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|-------|--------|---|--|
| | | | | 0,28 | 0,462 | | | | | | | | |
| 13 | 28,68 | 2,00 | 1,44 | 1,15 | 0,442 | 0,480 | 2,88 | 1,382 | 11,962 | 4,400 | 38,086 | IID – 10,99 m³ s⁻¹ – 56 seg | |
| | | | | 0,29 | 0,519 | | | | | | | | |
| 14 | 30,68 | 2,00 | 1,44 | 1,15 | 0,410 | 0,444 | 2,88 | 1,279 | 13,241 | 4,072 | 42,158 | | |
| | | | | 0,29 | 0,477 | | | | | | | | |
| 15 | 32,68 | 2,00 | 1,30 | 1,04 | 0,778 | 0,646 | 2,60 | 1,680 | 14,921 | 5,349 | 47,507 | IID – 14,13 m³ s⁻¹ - 40 seg | |
| | | | | 0,26 | 0,513 | | | | | | | IIL – Amostra padrão | |
| | | | | | | | | | | | | t _{min} = 10 segundos | |
| | | | | | | | | | | | | t _{amostragem} = 34 seg, 400ml | |
| 16 | 34,68 | 2,00 | 1,39 | 1,11 | 0,349 | 0,408 | 2,78 | 1,134 | 16,055 | 3,610 | 51,117 | | |
| | | | | 0,28 | 0,467 | | | | | | | | |
| 17 | 36,68 | 2,00 | 1,47 | 1,18 | 0,264 | 0,314 | 2,94 | 0,923 | 16,978 | 2,939 | 54,056 | | |
| | | | | 0,29 | 0,364 | | | | | | | | |
| 18 | 38,68 | 2,00 | 1,45 | 1,16 | 0,072 | 0,201 | 2,90 | 0,583 | 17,561 | 1,856 | 55,912 | IID – 17,27 m³ s⁻¹ – 88 seg | |
| | | | | 0,29 | 0,330 | | | | | | | IIL – 38 segundos | |
| 19 | 40,68 | 2,00 | 1,48 | 1,18 | 0,062 | 0,174 | 2,96 | 0,515 | 18,076 | 1,640 | 57,552 | | |
| | | | | 0,30 | 0,287 | | | | | | | | |
| 20 | 42,68 | 2,00 | 1,81 | 1,45 | 0,076 | 0,190 | 3,62 | 0,688 | 18,764 | 2,190 | 59,742 | | |
| | | | | 0,36 | 0,304 | | | | | | | | |
| 21 | 44,68 | 2,00 | 1,90 | 1,52 | 0,086 | 0,212 | 3,80 | 0,806 | 19,570 | 2,566 | 62,308 | IIL – 50 segundos | |
| | | | | 0,38 | 0,339 | | | | | | | | |
| 22 | 46,68 | 2,00 | 1,11 | 0,89 | 0,294 | 0,288 | 2,22 | 0,639 | 20,209 | 2,034 | 64,342 | | |
| | | | | 0,22 | 0,282 | | | | | | | | |
| 23 | 48,68 | 2,00 | 1,88 | 1,50 | 0,164 | 0,225 | 3,76 | 0,846 | 21,055 | 2,693 | 67,035 | IID – 20,41 m³ s⁻¹ – 40 seg | |
| | | | | 0,38 | 0,286 | | | | | | | | |
| 24 | 50,68 | 2,00 | 1,98 | 1,58 | 0,125 | 0,193 | 3,96 | 0,764 | 21,819 | 2,432 | 69,467 | IIL – 52 segundos | |
| | | | | 0,40 | 0,261 | | | | | | | | |
| 25 | 52,68 | 2,00 | 2,08 | 1,66 | 0,123 | 0,203 | 4,16 | 0,844 | 22,663 | 2,687 | 72,154 | | |
| | | | | 0,42 | 0,283 | | | | | | | | |
| 26 | 54,68 | 2,00 | 2,12 | 1,69 | 0,219 | 0,202 | 4,24 | 1,111 | 23,774 | 3,537 | 75,691 | IID – 23,55 m³ s⁻¹ – 104 seg | |
| | | | | 0,42 | 0,305 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|------|--------------|----------------|-------|------|-------|--------|-------|---------|---|
| 27 | 56,68 | 2,00 | 2,08 | 1,66 0,42 | 0,241 0,277 | 0,259 | 4,16 | 1,077 | 24,851 | 3,429 | 79,120 | III – 54 segundos |
| 28 | 58,68 | 2,00 | 1,94 | 1,55 0,39 | 0,246 0,282 | 0,264 | 3,88 | 1,024 | 25,875 | 3,260 | 82,380 | |
| 29 | 60,68 | 2,00 | 1,88 | 1,50 0,38 | 0,260 0,314 | 0,287 | 3,76 | 1,079 | 26,954 | 3,435 | 85,815 | IID – 26,69 m ³ s ⁻¹ – 80 seg |
| 30 | 62,68 | 2,00 | 1,97 | 1,58 0,39 | 0,246 0,323 | 0,284 | 3,94 | 1,119 | 28,073 | 3,563 | 89,379 | III – 52 segundos |
| 31 | 64,68 | 2,00 | 2,01 | 1,61 0,40 | 0,247 0,323 | 0,285 | 4,02 | 1,146 | 29,219 | 3,649 | 93,027 | IID – 29,83 m ³ s ⁻¹ – 80 seg |
| 32 | 66,68 | 2,00 | 1,82 | 1,46 0,36 | 0,233 0,349 | 0,291 | 3,64 | 1,059 | 30,278 | 3,372 | 96,399 | |
| 33 | 68,68 | 2,00 | 1,67 | 1,34 0,33 | 0,146 0,220 | 0,183 | 3,34 | 0,611 | 30,889 | 1,945 | 98,344 | III – 44 segundos |
| 34 | 70,68 | 2,00 | 1,37 | 1,10 0,27 | 0,181 0,158 | 0,170 | 2,74 | 0,466 | 31,355 | 1,484 | 99,828 | |
| 35 | 72,68 | 1,15 | 0,56 | 0,34 | 0,085 | 0,085 | 0,64 | 0,054 | 31,409 | 0,172 | 100,000 | |
| - | 73,68 | | 0,00 | | | | | 0,000 | | 0,000 | | |

| | | | | |
|---|---|---|-------------------------|-----------------------------------|
| Vazão total: 31,409 m³ s⁻¹ | Área total: 103,87 m² | Velocidade média: 0,302 m s⁻¹ | Largura: 71,00 m | Profundidade média: 1,46 m |
|---|---|---|-------------------------|-----------------------------------|

ANEXO – 2

CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA NO POSTO DO RIO MANSO EM PORTO DE CIMA

- Estudo de caso -

1. INTRODUÇÃO

O cálculo da descarga sólida é parte inicial do processamento dos dados. Uma vez obtendo-se os resultados da descarga líquida, das análises de sedimento e demais informações, a descarga sólida instantânea poderá ser calculada. O programa de medições estabelecido certamente terá indicado os cálculos necessários, bem como os métodos a serem seguidos.

Podem-se calcular a descarga em suspensão, do leito ou de arrasto, do material do leito e a descarga sólida total. A descarga em suspensão é calculada independentemente da descarga do leito porque não seguem a mesma lei de movimento. Enquanto o material em suspensão fica sujeito principalmente à ação da corrente, o material do leito sofre também ações de resistência entre as próprias partículas e interferências no leito.

Para cálculo da descarga em suspensão normalmente há somente necessidade do valor da vazão e da concentração média de sedimentos. Caso haja necessidade da distribuição da descarga em suspensão em relação à granulometria, haverá necessidade da determinação da análise granulométrica. Se for necessário a distribuição da descarga em suspensão em relação a largura e a profundidade, então se deverá fazer amostragens pontuais. Estes procedimentos implicam em métodos e equipamentos adequados, sendo utilizados em trabalhos especiais ou pesquisas.

Para cálculo da descarga do leito e da descarga sólida total as alternativas de obtenção são maiores, levando o técnico a ter conhecimentos da matéria para melhor escolher o método de trabalho, bem como ter melhor discernimento e poder avaliar adequadamente os resultados obtidos. Para cálculo da descarga de arrasto e de material do leito existem diversas fórmulas, talvez 50 ou um pouco mais, cada uma delas determinada nas condições locais. Talvez duas ou três delas tenham se baseado completamente em conceitos teóricos mais completos. As demais se basearam em aspectos experimentais para as condições do curso d'água (ou laboratório) da ocasião e condições dos estudos.

Convém observar que os cálculos da descarga sólida com programas norte-americanos são realizados utilizando as normas da AGU de classificação granulométrica, diferentes das normas da ABNT.

Para se efetuar esses cálculos antes da era da informática, era necessário que se escolhesse primeiro a fórmula a partir de um completo conhecimento das condições locais de medida bem como de aplicabilidade da fórmula, sob o risco de se concluir no final dos estudos que seria necessário a escolha de outro método e ter de efetuar novos cálculos muito trabalhosos. Considerando a facilidade do trabalho que um computador permite, calcula-se hoje em dia todas as medições por todas as fórmulas desejáveis enquanto se observa o curso d'água ao longo do tempo, conhecendo o regime hidrológico e

sedimentológico local, para se ter experiência e conhecimento suficientes para os estudos finais.

No presente estudo de caso são apresentados os cálculos da descarga sólida por diversos métodos. Para melhor conhecimento dos processos de medida, amostragem e análise de sedimentos, bem como as fórmulas utilizadas, é recomendável se reportar aos capítulos do *Guia de Práticas Sedimentométricas* e também à bibliografia aqui apresentada.

2. POSTO FLUVI-SEDIMENTOMÉTRICO

O posto de medida está localizado no Rio Manso em Porto de Cima, tributário do Cuiabá, bacia do Paraguai, Estado do Mato Grosso, estando codificado como 6624 0000 e 6624 0001. Tem área de drenagem de 8.805km² e coordenadas de 14°53' e 55°52'. Pertence à ANEEL, estando em operação pela CPRM, com medições regulares de nível d'água e da descarga líquida. Instalado em 23.07.1972 e operado até 1990 pelo extinto DNOS, foram também realizadas medições da descarga sólida, com frequência mensal, entre 1978 a 1982. O posto foi instalado com interesses de estudos para construção de barragem e formação de reservatório no local para controle de cheias e regularização do Rio Cuiabá, como principais finalidades. Posteriormente a ELETROBRÁS tendo se interessado pela geração de energia no local, tomou a responsabilidade de construção da barragem, que foi repassada à responsabilidade da ELETRONORTE e depois para FURNAS que completou a obra. No período foram instalados outros postos nas proximidades, tendo sido realizadas outras medições da descarga sólida.

3. PROGRAMA DE MEDIÇÕES

O programa de medições sedimentométricas estabelecido pelo DNOS previa estudos na bacia do Alto Paraguai e, de modo especial, no Pantanal mato-grossense, tendo sido instalados 14 postos distribuídos ao longo do principal curso d'água e nos principais afluentes. Por falta de recursos financeiros, a rede sedimentométrica foi desativada, tendo sido operada somente no período de 1978 a 1982.

Em todos os postos foram previstas medições da descarga sólida total a serem calculadas pelo método modificado de Einstein. Foram realizadas medições de descarga líquida para que se tivesse os valores necessários à amostragem de sedimentos e aos cálculos a serem efetuados. As coletas de sedimento em suspensão foram realizadas pelo método de igual incremento de largura, entre 5 a 10 verticais, para determinação da concentração e da granulometria a partir de amostra composta. As coletas de sedimento do leito foram realizadas na metade das posições de antes, com um mínimo de três subamostras para compor uma só amostra para determinação da granulometria.

4. DADOS E RESULTADOS

Os dados necessários aos cálculos e os resultados da medida da descarga líquida e da descarga sólida estão apresentados nos quadros anexos.

As análises de material em suspensão foram realizadas pelo processo do tubo de retirada pelo fundo que permite a determinação da concentração e da granulometria. As análises do material do leito foram feitas por peneiramento até a fração inferior de areia, e daí, para o material mais fino com o tubo de retirada pelo fundo. Esses resultados também estão apresentados nos quadros.

A declividade da linha energética, por falta de medição em campo, foi determinada pela fórmula de Manning, considerando o coeficiente n como sendo da areia grossa com algum pedregulho igual a 0,029 (ver dados da análise granulométrica). Então:

$$S = \left(\frac{Q.n}{A.R^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{113,897 \times 0,029}{198,36 \times 2,37^{2/3}} \right)^2 = 0,0001$$

5. CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

A descarga sólida em suspensão foi determinada conforme a equação e cálculos a seguir:

$$Q = 0,0864.Q.C = 0,0864 \times 13,897 \times 155,55 = 1.530,7 \text{ t/dia}$$

sendo a constante um fator de transformação de unidades, Q em m³/s e C em mg/l.

6 CÁLCULO DA DESCARGA DO MATERIAL DO LEITO E DE ARRASTO

Os resultados apresentados para a *descarga sólida de material do leito e descarga sólida do leito* (ou *descarga de arrasto*) foram obtidos por *software* segundo apresentado por Stevens Jr. & Yang (1989). A adaptação ao sistema métrico foi feita por Jorge Prodanoff.

CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL

São apresentados dois cálculos da descarga sólida total.

O primeiro foi realizado pelo *método simplificado de Colby*, de 1957, conforme apresentado por Carvalho (1994), páginas 201 a 205, estando o programa de computador indicado nas páginas 369 a 371, tendo sido este programa desenvolvido por Jorge Henrique Alves Prodanoff.

O segundo foi realizado pelo *método modificado de Einstein* a partir de programa apresentado por Stevens Jr. (1985). Neste processo foi utilizada a distribuição da descarga sólida segundo a granulometria do material.

Dados para cálculo da descarga sólida

Rio: Manso **Local:** Porto de Cima
Bacia: Cuiabá / Paraguai / Paraná **Data:** 25.05.1977 **Hora:**
Entidade: DNOS **Equipe:** HSA

Resumo das medições de descarga líquida e sólida em suspensão

| Descarga líquida | | | Descarga sólida em suspensão | | |
|---------------------|---------------|-------------------|------------------------------|---------------------|-------|
| Nº da medição | <i>I</i> | | Nº da medição | <i>I</i> | |
| Cota | $h = 1,31$ | M | Amostradores | <i>DH-59 e Rock</i> | |
| Largura superficial | $L = 83,70$ | M | Dist. do bico ao fundo | $p_n = 0,102$ | m |
| Área da seção | $A = 198,45$ | m ² | Concentração medida | $c = 155,55$ | ppm |
| Profundidade média | $p = 2,37$ | M | Prof. média amostrada | $p_s = 2,658$ | m |
| Velocidade média | $v = 0,573$ | m/s | Temperatura da água | $T = 23,8$ | °C |
| Descarga líquida | $Q = 113,897$ | m ³ /s | Desc. em suspensão | $Q_{ss} = 1530,7$ | t/dia |
| | | | Declividade | $S = 0,0001$ | |

Resultados das análises granulométricas do material em suspensão e do leito

| Material em suspensão | | Material do leito | | |
|-----------------------|-------------|-------------------|---------------|-------------|
| Diâmetro (mm) | % acumulada | Nº da peneira | Diâmetro (mm) | % acumulada |
| | | 270 | 0,055 | - |
| 0,0020 | - | 230 | 0,060 | - |
| 0,0039 | 23,90 | 200 | 0,078 | 0,10 |
| 0,0050 | - | 140 | 0,105 | - |
| 0,0055 | 30,00 | 120 | 0,125 | - |
| 0,0078 | 37,00 | 100 | 0,149 | 1,70 |
| 0,0110 | 44,50 | 80 | 0,177 | - |
| 0,0156 | 52,00 | 70 | 0,210 | - |
| 0,0221 | 62,50 | 60 | 0,250 | - |
| 0,0312 | 67,50 | 50 | 0,297 | - |
| 0,0442 | 70,40 | 45 | 0,350 | - |
| 0,0500 | - | 40 | 0,420 | - |
| 0,0625 | 73,00 | 35 | 0,500 | - |
| 0,125 | 89,80 | 30 | 0,590 | 96,80 |
| 0,250 | 95,20 | 25 | 0,710 | - |
| 0,500 | 100,00 | 20 | 0,840 | - |
| 0,840 | - | 18 | 1,000 | - |
| 1,000 | - | 16 | 1,190 | - |
| 2,000 | - | 14 | 1,410 | - |
| | | 12 | 1,650 | - |
| | | 10 | 2,000 | 96,80 |
| | | 8 | 2,380 | - |
| | | 7 | 2,830 | - |
| | | 6 | 3,360 | - |
| | | 5 | 4,000 | - |
| | | 3/16" (4) | 4,762 | 98,80 |
| | | 5/16" | | 99,85 |
| | | 3/8" | 9,525 | 100,00 |

Interpretação das curvas granulométricas

| Material em suspensão | | | | Material do leito | | | |
|-----------------------|--------|-----------------|-------|-------------------|--------|-----------------|-------|
| Diâm. | % | Faixa gran. | % | Diâm. | % | Faixa gran. | % |
| 0,000 | 0,00 | 0,000 – 0,0156 | 52,00 | 0,002 | 0,00 | 0,000 – 0,0156 | 0,00 |
| 0,0156 | 52,00 | 0,0156 – 0,0625 | 21,00 | 0,0156 | 0,00 | 0,0156 – 0,0625 | 0,20 |
| 0,0625 | 73,00 | 0,002 – 0,0625 | - | 0,0625 | 0,20 | 0,002 – 0,0625 | - |
| 0,125 | 89,80 | 0,0625 – 0,125 | 16,80 | 0,125 | 9,10 | 0,0625 – 0,125 | 8,90 |
| 0,250 | 95,20 | 0,125 – 0,250 | 5,40 | 0,250 | 30,40 | 0,125 – 0,250 | 21,30 |
| 0,500 | 100,00 | 0,250 – 0,500 | 4,80 | 0,500 | 92,40 | 0,250 – 0,500 | 62,00 |
| 1,000 | | 0,500 – 1,000 | - | 1,000 | 96,40 | 0,500 – 1,000 | 4,00 |
| 2,000 | | 1,000 – 2,000 | - | 2,000 | 97,40 | 1,000 – 2,000 | 1,00 |
| 4,000 | | 2,000 – 4,000 | - | 4,000 | 98,60 | 2,000 – 4,000 | 1,20 |
| 8,000 | | 4,000 – 8,000 | - | 8,000 | 100,00 | 4,000 – 8,000 | 1,40 |
| | | | | 16,000 | | 8,000 – 16,000 | - |
| | | | | 32,000 | | 16,000 – 32,000 | - |

Composição do material e diâmetros característicos

| Material | Material em suspensão (%) | Material do Leito (%) | Diâmetros característicos do material do leito (mm) | |
|------------|---------------------------|-----------------------|---|------|
| Argila | 28,00 | - | D ₃₅ | 0,26 |
| Silte | 44,00 | - | D ₅₀ | 0,29 |
| Areia | 28,00 | 98,80 | D ₆₅ | 0,34 |
| Pedregulho | - | 1,20 | D ₉₀ | 0,48 |

Resumo de cálculo de descarga sólida de material do leito

| Fórmula | Concentração relativa (ppm) | Descarga sólida unitária (kg/s.m) | Descarga sól. matl. do leito (t/dia) |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Laursen | 11,18 | 0,0152 | 110,00 |
| Engelund & Hansen | 47,31 | 0,0644 | 465,50 |
| Colby | 26,97 | 0,0367 | 265,36 |
| Ackers & White (usando D ₅₀) | 22,25 | 0,0303 | 218,95 |
| Ackers & White (usando D ₃₅) | 24,88 | 0,0339 | 244,82 |
| Yang Areia (usando D ₅₀) | 15,14 | 0,0206 | 148,93 |
| Yang Areia (usando granul.) | 17,54 | 0,0239 | 172,53 |
| Yang Pedregulho (usando D ₅₀) | 0,03 | - | 0,29 |
| Yang Pedregulho (usando granul.) | 0,04 | - | 0,35 |
| Yang Areia+Pedregulho | 17,41 | 0,0237 | 171,30 |
| Einstein | - | - | - |
| Toffaleti | - | - | - |

Nota: O programa não calculou a descarga sólida por Einstein e Toffaleti considerando a declividade adotada

Descarga sólida do leito

| Fórmula | Concentração relativa | Descarga sólida unitária | Descarga sólida do leito |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | (ppm) | (kg/s.m) | (t/dia) |
| Schoklitsch | - | - | - |
| Kalinske | - | - | - |
| Meyer-Peter & Muller | - | - | - |
| Rottner | - | - | - |
| Einstein | - | - | - |
| Toffaleti | - | - | - |

Nota: O programa não calculou a descarga sólida do leito considerando a declividade adotada

**Resumo de cálculo de descarga sólida total
(método Simplificado de Colby)**

| Descarga sólida em suspensão | Descarga sólida não medida | Descarga sólida total |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| (t/dia) | (t/dia) | (t/dia) |
| 1.530,72 | 592,58 | 2.123,30 |

**Resumo de cálculo de descarga sólida total
(método modificado de Einstein)**

| | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Viscosidade cinemática | = 0,0000009 m ² /s | A' | = 0,038 |
| Espessura da sub-camada laminar | = 0,0008029 m | Velocidade de cisalhamento | = 0,013264 m/s |
| Faixa de referência | Múltipla | Fator P | = 18,25 |
| Porcentagem de fluxo amostrado | = 96,88 % | Fator X | = 0,40 |
| Profundidade média / K _s | = 6970588,0 | Coefficiente angular Z (regressão) | = 0,10 |

| Granulometria | Gran. Susp. | Gran. Leito | Desc.lei i _r Q _r | Q' _s | Multi-plicador | Z Comps. | F(J) | F(I)+1 | Desc. Sól. Tot. |
|-----------------|-------------|-------------|--|-----------------|----------------|----------|------|--------|-----------------|
| (mm) | (%) | (%) | (t/dia) | (t/dia) | - | - | - | - | (t/dia) |
| 0,000 – 0,0156 | 52,00 | 0,00 | 0,00 | 772,5 | 0,00 | 0,44 | 1,20 | 0,00 | 927,6 |
| 0,0156 – 0,0625 | 21,00 | 0,20 | 0,08 | 312,0 | 0,00 | 0,63 | 1,42 | 0,00 | 444,3 |
| 0,002 – 0,0625 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,0625 – 0,125 | 16,80 | 8,90 | 4,16 | 249,6 | 0,00 | 0,75 | 1,68 | 0,00 | 423,2 |
| 0,125 - 0,250 | 5,40 | 21,30 | 6,23 | 80,2 | 0,00 | 0,94 | 2,38 | 0,00 | 196,8 |
| 0,250 - 0,500 | 4,80 | 62,00 | 4,52 | 71,3 | 0,00 | 0,90 | 2,08 | 34,16 | 154,4 |
| 0,500 - 1,000 | 0,00 | 4,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,99 | 0,00 | 21,53 | 0,1 |
| 1,000 - 2,000 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 1,03 | 0,00 | 17,33 | 0,0 |
| 2,000 - 4,000 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 1,07 | 0,00 | 14,35 | 0,0 |
| 4,000 - 8,000 | 0,00 | 1,40 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 1,11 | 0,00 | 12,04 | 0,0 |
| Total | 100,00 | 100,00 | 15,00 | 1.485,5 | - | - | - | - | 2.146,3 |

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, Newton de Oliveira (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ.
- STEVENS Jr., Herbert H. (1985). *Computer program for the computation of total sediment discharge by the modified Einstein procedure*. USGS, Water Resources Investigations Report 85-4047. Lakewood, CO.
- STEVENS Jr., Herbert H., and YANG, Chih Ted (1989). *Summary and use of selected fluvial sediment discharge formulas*. USGS, Water Resources Investigations Report 89-4026. Denver, CO.

Agradecimentos: Este trabalho teve a participação do Engenheiro Pedro Moreira Rocha, do DEHID/CPRM a quem agradecemos.