

ESTUDO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS-PB

Thâmara M. I. de Sousa¹; Luara L. Ismael² & Manoel Moises F. de Queiroz³

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo principal proceder a um estudo sobre o aporte e transporte de sedimentos na sub- bacia hidrográfica do rio Piranhas, definida a partir da seção de controle localizada junto a ponte da BR 230 sobre o citado rio. Foram realizadas 8 medições hidrossedimentométricas, entre os meses de março a junho de 2012, foram medidos a vazão do rio, a concentração de sedimentos em suspensão, a granulometria de sedimentos de fundo, carga total de sedimento transportado pelo rio, bem como, a produção específica de sedimentos. A medição de vazão foi realizada pelo método velocidade-área da meia seção utilizando molinete fluviométrico e com medidor acústico Doppler de vazão, usando o ADP RiverSurveur S5 da Sontek, as amostragens de sedimentos em suspensão foram realizadas seguindo o método da integração vertical com o mesmo incremento de largura, a concentração de sedimentos em suspensão pelo método do tubo de retirada pela base, enquanto que a carga total de sedimento foi determinada pelo método de Colby. Os resultados mostraram a variação da concentração de sedimentos em suspensão durante período de estiagem e logo após a ocorrência de eventos chuvosos e a produção específica de sedimentos em suspensão que correspondeu a 11,55 t/km².ano.

Palavras-chave: Sedimentometria, Sedimentos, Vazão.

ABSTRACT - This paper's main objective is to conduct a study about the contribution and transport of sediments in the sub-basin of the Piranhas river, defined from the control section of the bridge located along the BR 230 on the said river. Measurements were performed 8 hidrossedimentométricas, between March and June 2012 were measured to the river flow, the concentration of suspended sediment, the grain size of bottom sediments, total sediment load transported by the river, as well as production specifies sediment. The flow measurement was conducted using the speed-area middle section using reel fluviometric and acoustic Doppler flow meter, using the ADP RiverSurveur Sonek S5, the suspended sediment samples were performed following the method of vertical integration with the same increase in width, the concentration of sediments in suspension by the method of the draft tube at the bottom while the total load of sediment was determined by the Colby. The results showed the variation of the concentration of suspended sediment during the dry season and shortly after rainfall events and the specific production of suspended sediment corresponding to 11.55 t / km². Years.

Keywords: Sedimentometry, Discharge solid, Flow.

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8399138037. E-mail: thamaraismael@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8396397573. E-mail: lurara_ismael@hotmail.com

³ Docente adjunto da Universidade Federal de Campina Grande. Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB. Fone: 8398214625. E-mail: moises@ccta.ufcg.edu.br

1 - INTRODUÇÃO

O termo sedimento refere-se à partícula derivada da fragmentação das rochas, seja por processos físicos ou químicos, que é transportada por ação de agentes externos como água e vento, do seu lugar de origem aos rios e locais de deposição. Nos rios estes sedimentos podem ser encontrados principalmente em suspensão na água ou depositado no leito (Carvalho *et al.* 2000).

O conhecimento do fluxo de sedimentos de um corpo hídrico é fundamental para a adequada gestão e uso do recurso, bem como para dar suporte à decisão sobre o desenvolvimento de atividades antrópicas, especialmente em áreas de bacias hidrográficas. O acompanhamento hidrossedimentológico de um dado corpo hídrico permite ainda o diagnóstico de eventuais impactos em sua área de drenagem ao longo do tempo, podendo assim, se tornar um importante indicador ambiental.

Em várias atividades de aproveitamento dos recursos hídricos de superfície, a concentração e a qualidade dos sedimentos são informações essenciais. Carvalho *et al.* (2000) afirmam que, 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.

Os inconvenientes causados pelos sedimentos em cursos d'água são agravados pelas enchentes e o aumento da erosão hídrica, que são fenômenos integrantes dos processos hidrossedimentológicos naturais, no entanto, tais processos têm-se intensificado em função das atividades humanas, sobretudo por meio da ocupação e do uso inadequado do solo, desmatamentos, atividades agropastoris e urbanização acelerada.

De acordo com Branco (1998), o avanço da agricultura e o conseqüente aumento da utilização do solo nesse setor de forma não planejada, com a remoção de sua cobertura vegetal e a subsequente exposição às intempéries, ocasionam alterações no meio natural, provocando aceleração no processo de erosão do solo – que traz conseqüências negativas e por vezes desastrosas, graças à sua forte influência sobre o regime hidrológico e sedimentológico de uma bacia hidrográfica.

A quantidade de sedimento transportado por um corpo hídrico em determinado instante é comumente chamado de carga sólida. As informações necessárias para o cálculo da carga sólida são, a descarga líquida do rio e a concentração de sedimentos em suspensão, ambos são dependentes do tempo e do espaço. Em muitos casos, estações fluviométricas monitoram continuamente a vazão líquida, enquanto que a concentração de sedimentos é medida com menor frequência devido ao alto custo de amostragem e de análise de laboratório (Quilbé *et al.* 2006).

Para Wren *et al.* (2000) a medição de sedimentos é difícil e dispendiosa devido ao fato de que rios conduzem mais de 50 % de sua carga total de sedimentos transportados durante eventos de cheias. Esses eventos ocorrem, muitas vezes, à noite e são difíceis de serem previstos, dificultando a obtenção de amostras de sedimentos.

O estudo em questão se desenvolveu na sub-bacia do rio Piranhas e como as demais sub-bacias da região, tem seu regime hidrológico fortemente influenciado pelas condições climáticas do semiárido. Notadamente, no curto período chuvoso, ocorrido anualmente, onde as variações de vazões, da qualidade da água e da quantidade de sedimentos são decorrentes dos volumes de água superficiais, associadas às formas de uso do solo, às características fisiográficas da bacia e ao tipo de cobertura vegetal predominante da caatinga.

Além disso, devido às características geológicas destas bacias, esses rios apresentam limitações de produção de água, ficando os mesmos com caráter temporários, onde as vazões ocorridas no período chuvoso são resultados praticamente do escoamento superficial, em que sua qualidade fica comprometida pelo aporte de sedimentos e agroquímicos. Já no período de estiagem a vazão regularizada pelos reservatórios tem sua qualidade comprometida pelo aporte de águas servidas de uso doméstico e agrícola.

Sobre o rio Piranhas está localizada uma estação fluviométrica da ANA (Código 37410000) nela a medição de sedimentos é feita uma ou duas vezes, no máximo, durante o ano, em períodos bem distintos e muitas vezes não coincidentes com o período chuvoso. Assim, há necessidades de investigar, de forma mais consistente, como se dá o aporte de sedimentos durante os períodos de estiagem e chuvoso e estabelecer procedimentos mais apropriados de determinação da carga e transporte de sedimento em rios de regime intermitentes, como é o caso em estudo.

Diante disso, os estudos referentes aos sedimentos tem sido um tema amplamente abordado na esfera científica, uma vez que, observa-se a necessidade de compreender a dinâmica hidrossedimentológica de corpos hídricos, com o intuito de evitar os inconvenientes gerados por eles, problemas que abrangem não só termos ambientais, mas também econômicos, como foi evidenciado nos trabalhos de Bellinaso e Paiva (2007) e Chella *et al.* (2005).

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar e monitorar a produção e transporte de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do rio Piranhas, definida a partir da seção de controle junto a Ponte sobre o citado rio, na BR 230, bem como, determinar a vazão do rio e relacionar com a carga de sedimentos transportado, em cada medição, determinar a concentração de sedimentos em suspensão, a descarga e granulometria de sedimentos de fundo, a carga total de sedimento transportado, além de buscar estabelecer um procedimento de amostragem que melhor represente as características intermitentes do rio.

1.1 - Revisão bibliográfica

A ação do homem representada pelos desmatamentos, obras civis e lançamento de efluentes sem tratamento nos rios, tem gerado diversos danos ambientais e econômicos e, assim, alterado o ambiente como um todo, destacando as unidades de planejamento que são as bacias hidrográficas, dentre os principais problemas, pode-se citar: à erosão das terras, o transporte de sedimentos nos cursos d'água e o assoreamento de rios e reservatórios, isso é destacado por Carvalho *et al.* (2005).

Os problemas com relação à deterioração da qualidade da água dos rios estão por vezes, vinculados ao desequilíbrio no aporte de sedimentos finos nos canais, produzindo turbidez. A carga de sedimento em suspensão (constituída de partículas de silte e argila) fica suspensa na água, até a velocidade do fluxo diminuir, atingindo um limite mínimo crítico depositando-se ao longo do rio. Se isso ocorre em mananciais de abastecimento de água, o tempo e o custo do processo de tratamento aumentam muito.

Para Ward e Trimble (2004) o sedimento é o mais significativo de todos os poluentes, por sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes. A maioria das bacias de captação de água para consumo está localizada em áreas rurais e, portanto, são influenciadas pelo excesso de sedimentos encontrados no sistema fluvial.

O depósito de sedimentos ainda pode ocasionar o aumento da ocorrência de enchentes, reduzir a vida útil de reservatórios, prejudicar a prática da navegação e elevar os custos de tratamento da água, entre outros. Os custos para desassorear o leito de um rio, lago ou reservatório são elevados e por isso medidas preventivas acompanhadas de um monitoramento sedimentométrico adequado são recomendadas (Scapin 2005).

Carvalho *et al.* (2005) ressaltam que danos ambientais e econômicos são cada vez maiores devido à erosão das terras, transporte de sedimentos nos cursos d'água e assoreamento de rios e reservatórios. A diminuição da vida útil de aproveitamento de recursos hídricos tem ocorrido devido ao aumento da erosão, tornando cada vez mais necessária a realização de estudos sedimentológicos.

Usualmente, o total de sedimentos em suspensão transportado por um rio é quantificado como a carga de sedimento ou carga sólida, que corresponde ao produto da sua concentração pela descarga líquida do rio. Contudo, a estimativa precisa da carga de sedimento é difícil, devido à concentração da mesma e a vazão, muitas vezes, variarem significativamente com o tempo. A precisão da estimativa da carga de sedimentos em suspensão é dependente da frequência de amostragem, em que a maior frequência resulta na melhor estimativa da mesma, porém com maior custo associado.

De acordo com Carvalho *et al.* (2000), a descarga sólida total pode ser obtida pelos seguintes processos: (i) soma da descarga em suspensão com a descarga de arraste e mais uma parcela que leva em conta a descarga não-amostrada; (ii) soma do material fino com descarga do material do

leito; (iii) processo de cálculo através dos método modificado de Einstein, para o qual é necessário à amostragem e análises granulométrica do material em suspensão e do leito e (iv) processo de cálculo pelo método simplificado de Colby, como utilizado neste trabalho.

2 – METODOLOGIA

Este estudo faz parte de um projeto de Iniciação Científica financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPQ e foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica do rio Piranhas, definido por uma seção de controle junto a Ponte sobre o rio, na BR 230, distante 5 km da cidade de Pombal - PB. Nesse local existe uma estação fluviométrica da ANA, operada pela AESA, entre as coordenadas -6:43:43 e -37:47:40, nela são realizadas medições diárias de vazão.

2.1 - Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia do rio Piranhas que está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu situada no Nordeste do Brasil (Figura 1), pertencente ao território dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, totalmente inserida no clima semi-árido nordestino. Possui uma área total de drenagem de 43.681,50 Km², sendo 26.183,00 Km², correspondendo a 60% da área no Estado da Paraíba, e o restante no Estado do Rio Grande do Norte. Conta com 147 municípios, sendo 45 no Estado do Rio Grande do Norte e 102 no Estado da Paraíba.

O principal rio da bacia é o rio Piranhas-Açu (Figura 1), de domínio federal, uma vez que nasce no município de Bonito de Santa Fé, no Estado da Paraíba, e segue seu curso natural pelo Estado do Rio Grande do Norte, desaguardo no Oceano Atlântico, na Costa Potiguar. O rio é denominado Piranhas no estado da Paraíba e, após cruzar a fronteira com o estado do Rio Grande do Norte é que adquire o nome de Piranhas-Açu. A bacia é constituída por sete sub-bacias: Piancó, Peixe, Alto Piranhas, Médio Piranhas, Espinharas, Seridó e Baixo Piranhas. As três primeiras estão totalmente inseridas em território paraibano, a sub-bacia do Baixo Piranhas situa-se totalmente no estado do Rio Grande do Norte e as demais estão compreendidas nos dois estados.

A parte da bacia do rio Piranhas, constituída pelas sub-bacias: Piancó, Peixe e Alto Piranhas apresenta capacidade de armazenamento de 1.846.126.108 m³, 143.791.396 m³ e 322.513.781 m³ respectivamente, através de importantes reservatórios como o sistema Coremas-Mãe D'Água, Engenheiro Ávidos, São Gonçalo, Lagoa do arroz, Capivara entre vários outros, isso permite a perenização de trechos dos rios Piancó, do Peixe e do Alto Piranhas e, por conseguinte do rio Piranhas até a montante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Estado do Rio Grande do Norte. (AESA, 2012)

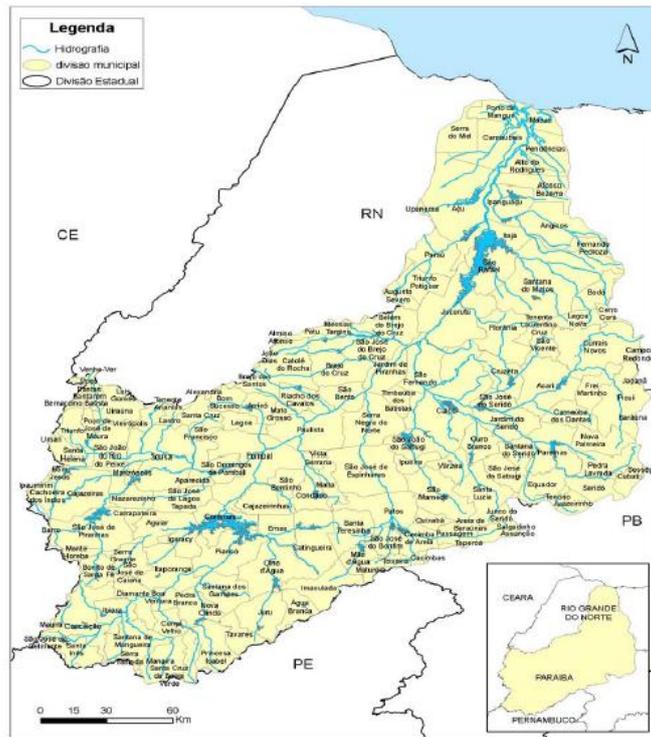


Figura 1- Localização da bacia hidrográfica Piranhas – Açú

2.1.1 - Características climáticas e fisiográficas

O clima predominante ao longo de toda a extensão da bacia é o quente e semiárido. A temperatura média anual gira em torno de 24°C, sobretudo na região do alto Rio Piranhas. A evaporação potencial é muito elevada em toda a bacia, com taxa anual em torno de 2000 mm. De modo geral, as precipitações anuais médias são de 500 mm na parte leste e 870 mm na parte oeste da bacia. (Crispim 2005)

A geologia da parte da bacia inserida no Estado da Paraíba, denominada de Alto Piranhas, é marcada por rochas cristalofinianas do Complexo gnáissico Migmatítico e rochas de sequência sedimentar, que chegam a provocar afloramentos na região.

A maior parte do solo na Paraíba é constituída pelo tipo Litólico Eutrófico, Bruno Não-Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo-Eutrófico. (Crispim 2005)

Com relação à vegetação, a maior parte da cobertura vegetal da bacia hidrográfica Piranhas-Açú pertence à Caatinga com árvores típicas, uma vegetação do tipo savana estépica, “estacional-decidual, portanto, com os estratos arbóreo e gramíneo-lenhoso periódico e com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas”. (IBGE 1995 citado em Rangel 2009)

2.2 - Medição de campo

Foi monitorado na seção de controle da bacia a descarga líquida, sólida em suspensão e de fundo, mensalmente, e no período chuvoso, seguindo a frequência de chuvas que alteram a vazão do rio. A vazão foi determinada através do método velocidade-área da meia seção, em que a velocidade de fluxo foi medida através de molinete fluviométrico (fabricante HIDROMEC, modelo NEWTON) com contador eletrônico de pulso (Figura 2A) e através de medidor acústico Doppler de vazão, usando o ADP RiverSurveur S5 da Sontek (Figura 2B).



Figura 2 - Molinete fluviométrico com contador eletrônico de pulso (A) e Medidor Current Acústico Doppler (B)

As amostras de água para determinação das descargas sólidas em suspensão foram coletadas através dos amostradores DH-48 (medição a VAU), fazendo-se uso do barco de alumínio, com guincho, motor de popa e lastro fluviométrico, quando necessários.

Além disso, com essa mesma estrutura foram obtidas amostras de sedimentos de fundo utilizando os amostradores USBM-54 e a draga de Peterson. Esses equipamentos foram disponibilizados pelo laboratório de Hidrologia da UFCG/Campus Pombal-PB. Para o estudo hidrossedimentométrico foi empregado o método da integração vertical, com o mesmo incremento de largura, tomando amostras compostas para cada medição. Com o amostrador do tipo DH-48 foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão em treze verticais na seção do rio. Segundo Carvalho *et al.* (2000) esse procedimento é necessário para obtenção de valores médios da concentração de sedimentos em suspensão em toda a seção, uma vez que, a distribuição de sedimentos é variável em toda largura do rio e em profundidade.

O amostrador citado é construído de alumínio com corpo de forma hidrodinâmica, é constituído por uma haste para realizar a coleta, possui um bocal para a coleta do material e no seu interior é colocada uma garrafa com capacidade de 500 mL. A amostragem é feita com o enchimento de aproximadamente dois terços da garrafa, o qual ocorre durante a movimentação vertical do amostrador em velocidade de trânsito constante entre a superfície e um ponto poucos centímetros acima do leito.

Segundo Carvalho *et al.* (2000), esse procedimento é conhecido como IVT, Igual Velocidade de Trânsito. Normalmente, o amostrador não deve tocar o leito para não correr o risco de coletar sedimento de arrasto, e também para que a velocidade de entrada da amostra seja igual ou quase igual à velocidade instantânea da corrente, para tanto, é necessário que o bico fique na horizontal, isto é o amostrador deve se movimentar sem haver inclinação. O amostrador do tipo DH-48 utilizado para coleta de amostras de sedimentos em suspensão é mostrado na Figura 4.



Figura 4 – Amostrador DH- 48 (A) e sua utilização (B)

Como a coleta de amostras de sedimentos em suspensão foi realizada juntamente com a determinação da descarga líquida, o seccionamento da seção de controle foi o mesmo, e o ponto de coleta com o amostrador foi o mesmo no qual foi tomada a velocidade média do escoamento nas verticais quando da utilização do molinete fluviométrico. Neste caso, foram selecionadas 13 verticais na seção transversal, as distâncias entre as verticais foram de 3 metros, aproximadamente, uma vez que, o rio apresenta uma largura de leito aproximadamente igual a 45 metros, neste caso, foi deixada uma margem inicial e final de 2,5 e 3 metros, respectivamente.

2.3 - Trabalhos em laboratório

2.3.1 - Análise de sedimentos em suspensão

Nessa fase dos trabalhos para a avaliação da concentração dos sedimentos em suspensão, utilizou-se a metodologia tradicional, que conta com filtragem com auxílio de uma bomba à vácuo e utilização de uma membrana filtrante (marca Milipore) com diâmetro de 0,45 micrometros e, calcinada em mufla a 500°C. Além disso, para determinação da concentração dos sedimentos em suspensão foi empregado o método do tubo de retirada pela base (Figura 6), constituído de 3 tubos de vidro graduados em divisões de 5 mm, com 1,20 m de comprimento, 2,54 cm de diâmetro interno e 3,0 cm de diâmetro externo, conforme instalação no laboratório de Hidrologia da UFCG/CCTA e descrito por Carvalho (1994).

O cuidado com a conservação das amostras coletadas em campo é de fundamental importância para a realização dos ensaios. As garrafas com a mistura água-sedimento devem ser

pesadas logo que chegam ao laboratório evitando assim, redução do seu peso por evaporação. Como também, devem ser conservadas ao abrigo da luz, com temperatura amena para evitar a proliferação de algas, bem como a floculação de partículas finas. Para evitar que isto ocorra, foi utilizado 1mL para cada litro de amostra da solução de Sulfato de Cobre.

As amostras, após serem decantadas, devem ser reduzidas, ou seja, retirado o sobrenadante até uma quantidade em que sua redução não interfira nos sólidos depositados no fundo da garrafa.

O método do tubo de retirada pela base consiste em inserir a amostra em um tubo até a graduação de 100 centímetros e agitar durante cinco minutos para que se tenha uma boa homogeneização. As amostras são retiradas de dez em dez graduações em intervalos de tempo determinados de acordo com o diâmetro de precipitação das partículas. Os tempos para retirada de cada amostra são em: 0,2; 4; 8; 13; 32; 80; 160; 450 e 451 minutos após o início do ensaio. Para cada retirada de amostra é importante se medir a temperatura da água. A Figura 6 mostra os tubos de retirada pela base, utilizados neste trabalho.

As amostras retiradas foram levadas para a secagem em estufa a 105°C durante 24h. Em seguida, levadas a temperatura ambiente em dessecador a vácuo. O peso total da amostra se dá pela diferença entre o peso seco e a tara do becker.

Os valores de concentração, de todas as verticais que compõe a seção, foram determinados pela relação entre a massa do sedimento e o volume da amostra coletado como mostra a expressão a seguir:

$$C = Ps/ Vol \quad (1)$$

Em que C é a concentração de sedimento em suspensão na vertical amostrada (mg /L); Ps é o peso do sedimento (mg) e Vol é o volume da amostra (L).



Figura 6 - Conjunto de três tubos de vidro graduados para método do tubo de retirada pela base

2.3.2 - Análise de sedimento de fundo – granulometria

Para avaliação do material do leito, utilizou-se a análise granulométrica para identificar o tamanho das partículas ou grãos (Figura 7), e a distribuição de suas respectivas porcentagens de ocorrência. Desta análise determinou-se o tamanho e a graduação das partículas constituintes do solo. Para a realização dos ensaios, as amostras da seção estudada, foram secadas na estufa e posteriormente desagregaram-se os torrões. Em seguida, foi feito a separação de 100 gramas do material seco e homogeneizado (Figura 8A), objetivando obter uma amostra representativa. Após a separação, foi realizada a classificação granulométrica com a utilização de peneiras de números: 5, 10, 18, 35, 60, 80, 120, e 230 (Figura 7 e 8B), com ajuda de um agitador mecânico, o material contido em cada peneira foi separado e pesado, logo após obteve-se uma relação de proporção por meio de procedimentos matemáticos simples de porcentagem.



Figura 7- Conjunto de peneiras utilizado



Figura 8 - Pesagem do material de fundo (A) e material separado de cada peneira (B)

2.4 - Cálculo da descarga sólida

Os cálculos são baseados em amostras pontuais ou por integração, sendo uma modificação do método clássico de determinar a descarga sólida em suspensão, as amostras por integração vertical exigem um tratamento diferente. Se o sedimento é fino e se a maior parte da vertical for amostrada, a concentração pode ser considerada igual na vertical. Contudo, se material grosso foi encontrado em suspensão perto do leito, contensões devem ser feitas considerando-se a zona amostrada e a profundidade total.

Estas correções podem ser feitas pelo método modificado de Einstein (ou método de Colby), Ackers & White e Rottner. Amostragens pontuais ou cálculos analíticos baseados na granulometria, velocidade e demais características do escoamento, são outras maneiras de corrigir. Emprega-se na avaliação da degradação específica de sedimento em suspensão, arraste, total e na avaliação na zona de estocagem de sedimento, ou seja, zona de assoreamento (deposição de areia), o método de Colby, em função das características regionais e locais, tais como: topologia, morfologia, geologia e cobertura vegetal do sistema conectado.

2.4.1 Método simplificado de Colby

Este método proposto em 1957 e, descrito em Carvalho (1984) é empregado na avaliação dos impactos sedimentológicos baseados no método modificado de Einstein. Colby realizou anteriormente diversas medidas em um rio real, em Nebraska, obtendo relações empíricas para estimar a descarga total de sedimento.

A descarga sólida total é calculada pela soma da descarga sólida em suspensão (medida), com a descarga sólida de fundo (não medida). Isto é feito através da seguinte expressão:

$$Q_{sT} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (2)$$

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

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C's \quad (3)$$

Em que:

Q_{sT} : descarga sólida total em t/dia; Q_{sm} : descarga sólida medida em t/dia; Q_{nm} : descarga Sólida não medida em t/dia; Q : descarga líquida em m³/s; $C's$: concentração de sedimento em suspensão medida (mg/l).

O cálculo de Q_{nm} é feito por meio de três ábacos, com o conhecimento da velocidade média (m/s), da profundidade média (m), concentração medida (mg/l) e a largura da seção (m) e, adotando o seguinte procedimento:

- 1) Obtém-se a descarga sólida não medida aproximada, por unidade de largura, q'_{nm} (t/dia/m) no primeiro ábaco,
- 2) Obtém-se a concentração relativa, Cr , em um segundo ábaco, a partir da velocidade média e da profundidade média.
- 3) Calcula-se a razão de eficiência: $e = C's/Cr$.
- 4) A partir dessa razão, obtém-se em um terceiro ábaco, o fator de correção K , na linha média igual a 1.
- 5) Calcula-se a descarga sólida não amostrada pelo produto de q'_{nm} , pelo fator de correção K e pela largura da seção L .

$$Q_{nm} = q'_{nm} \times L \times K \quad (4)$$

Em que q'_{nm} : Descarga sólida não medida aproximada em t/dia/m; L : Largura da Seção transversal em m; K : Fator de Correção.

No que tange a produção específica de sedimentos em suspensão, esta foi obtida por meio da equação 5, descrita em Carvalho (2008):

$$P_{ss} = Q_{ss} / A \quad (5)$$

Em que: P : produção específica de sedimentos em $t/km^2 \cdot ano$; Q_{ss} : descarga sólida em suspensão em t/ano ; A : área incremental da bacia em km^2 .

3 - RESULTADOS

A batimetria da seção transversal escolhida está representada na Figura 9, com destaque aos pontos que representam as verticais amostradas, realizada no dia 6 de março de 2012.

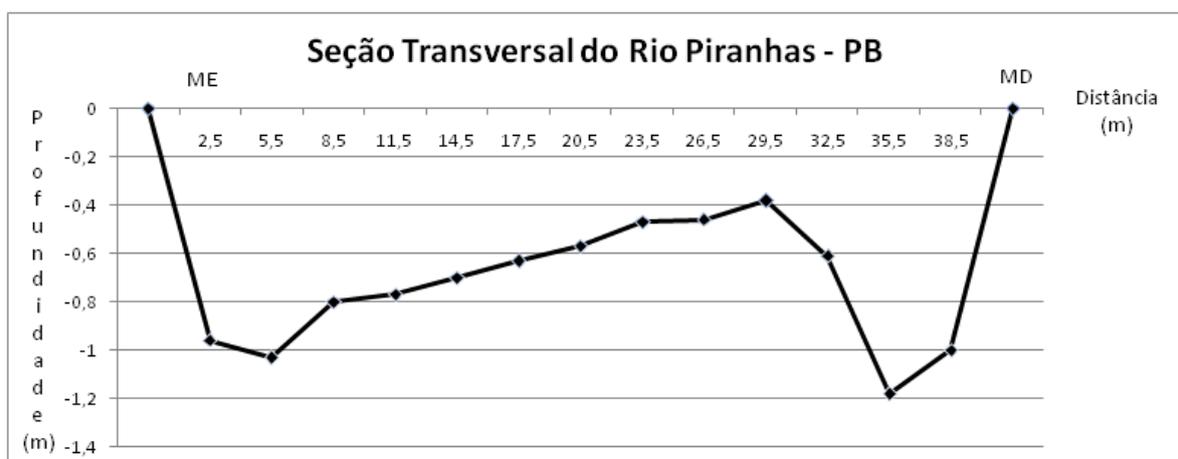


Figura 9 - Representação da batimetria da seção do rio Piranhas no dia 06/03/2012

No decorrer da pesquisa, foram realizadas 8 campanhas de medições hidrossedimentométricas, que abrange as medições de descarga líquida e sólida na seção de controle do rio Piranhas- PB. Na Tabela 1 são apresentados os valores encontrados para altura da lamina de água (Hm), área da seção molhada (A), velocidade média do escoamento (Vm), bem como, vazão (Q), concentração de sedimentos em suspensão (Css), descarga sólida (Qss) e descarga sólida total (Qst), respectivamente.

Tabela 1- Dados das medições hidrossedimentométricas do rio Piranhas- PB

Data	Hm (m)	A (m ²)	Vm (m/s)	Q (m ³ /s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)	Qst (t/dia)
06/03/2012	0,44	32,7	0,389	9,73	44,62	37,5	42,99
12/03/2012	0,39	29,9	0,287	7,32	21,23	13,4	16,55
20/03/2012	0,37	23,4	0,203	4,73	14,53	5,9	7,75
10/04/2012	0,32	25,4	0,170	4,32	12,75	4,7	6,11
23/05/2012	0,285	25,4	0,158	4,02	8,87	3,08	4,3
30/05/2012	0,32	25,8	0,167	4,31	20,3	7,6	9,11
10/06/2012	0,328	26,2	0,162	4,33	14,97	5,6	6,99
22/06/2012	0,332	26,9	0,158	4,36	10,25	3,86	5,11
Valor médio	0,348	26,9	0,212	5,39	18,44	10,2	12,36
Valor máximo	0,44	32,7	0,389	9,73	44,62	37,5	42,99
Valor mínimo	0,285	23,4	0,158	4,02	8,87	5,6	4,3

Em que: Hm: Altura da lâmina de água em m; Área: área da seção molhada em m²; Vm: Velocidade média do escoamento em m/s; Q: Vazão do escoamento em m³/s; Css: Concentração de sedimentos em suspensão em mg/L; Qss: Descarga sólida obtida pela equação: $Qss = 0,0864 \times Q \times Css$ em t/dia (descrito em Carvalho, 2008); QsT: descarga sólida total obtida pelo método de Colby, em t/dia.

Ao analisar os dados expostos na Tabela 1 é possível observar o comportamento da concentração de sedimentos em suspensão durante períodos diferenciados, as amostragens realizadas de 06/03/12 a 23/05/12, correspondem ao período de amostragens onde não foram identificados a ocorrência de eventos chuvosos significativos, como resposta, notamos a diminuição da vazão que variou de 9,73 m³/s a 4,02 m³/s e de forma semelhante ocorre com a concentração de sedimentos em suspensão que variou de 44,62 mg/L a 8,87 mg/L, Filho *et al.* (2010) encontraram valores bem superiores, variando de 217 mg/L a 419,7 mg/L para vazões na mesma faixa na sub-bacia do Riacho Exu-PE.

Já ao se analisar o período de amostragem de 23/05/12 a 22/06/12, este corresponde a um período onde ocorreram eventos chuvosos significativos, conforme esperado, houve um aumento na

vazão de escoamento na seção estudada de 0,34 m³/s, devido principalmente a um aumento na vazão de precipitação à montante da bacia, lembrando que o rio Piranhas recebe vazão regularizada do seu afluente, o rio Piancó, que é perenizado pelo Sistema Coremas Mãe D'Água, neste caso, a concentração de sedimentos em suspensão apresentou um comportamento peculiar, logo após a ocorrência de eventos chuvosos observa-se a elevação do valor de concentração de sedimentos em suspensão, possivelmente isto corresponde à carga de lavagem da área de drenagem da bacia, verificando-se a seguir uma redução do valor da concentração de sedimentos em suspensão, comparativamente com o acréscimo da vazão. Filho *et al.* (2010) ao analisarem a concentração de sedimentos em suspensão em uma bacia do semiárido pernambucano, concluiu que a concentração de material em suspensão no início da cheia é bastante elevada, devido a mobilização de sedimento depositado nos eventos finais do ano anterior e, demonstra a característica de variabilidade dos eventos hidrológicos do ambiente semiárido.

Esse resultado também confirma o que diz Carvalho (2008), que 70% a 90% do material transportado nos cursos d'água está diretamente relacionado com a quantidade de precipitações e ocorrem principalmente durante período de fortes chuvas.

Na Figura 10 é exposto a variação da concentração de sedimentos em suspensão ao longo do período de amostragens.

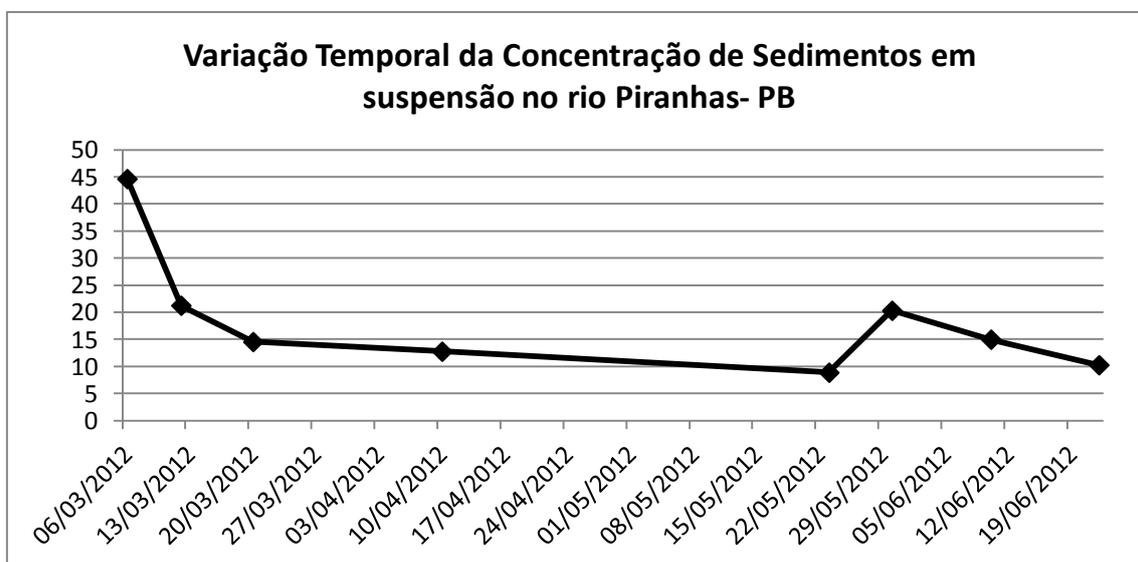


Figura 10 - Variação temporal da concentração de sedimentos em suspensão durante o período de amostragens

Foram observados valores médios de 18,44 mg/L, os valores máximos e mínimos observados foram de 44,62 mg/L e 8,87 mg/L, respectivamente. Segundo Tooth (2000), esse padrão de distribuição da concentração de sedimentos em pulsos lineares parece acompanhar o padrão de distribuição de chuvas e de escoamentos superficiais em eventos de picos simples, característica do padrão de chuvas das regiões áridas e semiáridas.

A correlação existente entre a vazão e a descarga sólida de sedimentos em suspensão é apresentada na Figura 11.

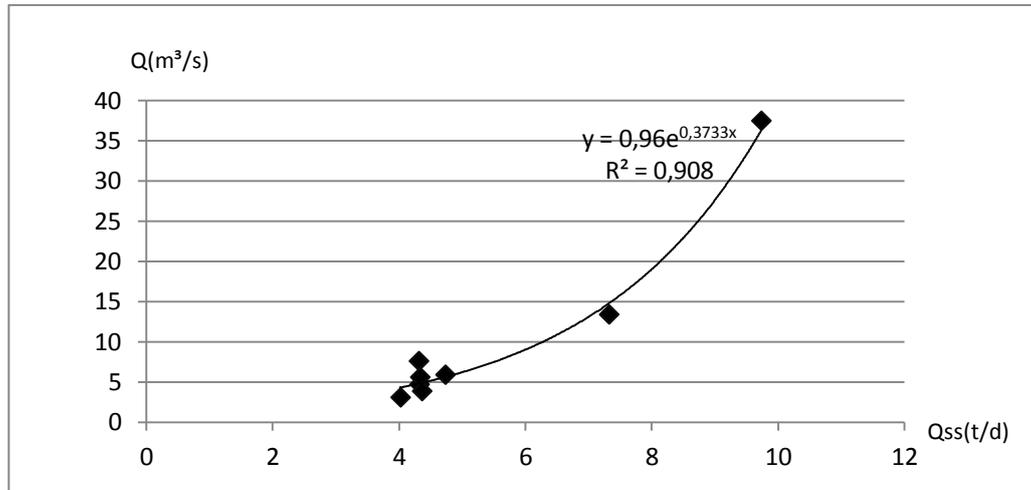


Figura 11 - Correlação entre a vazão em m³/s e descarga sólida em t/dia

A descarga sólida em suspensão na sub- bacia do rio Piranhas apresentou bom ajuste aos níveis de vazões, como mostrou o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,908$). Os valores variaram de 37,5 t/dia para o período de maior descarga líquida de 9,73 m³/s, e de 3,08 t/dia para o período de menor descarga líquida de 4,02 m³/s. Valores com amplitude bem superiores, variando de 13.539,39 t/dia a 1,03 t/dia, foram encontrados por Filho *et al.*(2010), em estudos recentes no semiárido pernambucano, Melo *et al.* (2008) em vazões variando de 0,00708 m³/s a 0,3446 m³/s encontrou valores de descarga sólida em suspensão variando de 0,094 t/dia a 9,018 t/dia, ao correlacioná-los com as vazões obtiveram um valor de coeficiente de determinação igual a 0,9633, este estudo foi realizado na sub- bacia hidrográfica do rio Jacu- PE.

Com relação à produção específica de sedimentos em suspensão da sub- bacia em questão, este corresponde a 11,55 t/km².ano. A área apresenta características típicas das propriedades do semiárido brasileiro, com áreas de caatinga onde se desenvolve práticas agrícolas na forma da agricultura de sequeiro, com a utilização das queimadas como prática de manejo do solo, onde é feito o cultivo de espécies típicas como o feijão e milho onde se emprega baixo nível tecnológico, também se utiliza da pecuária extensiva com caprinos, ovinos e bovinos na bacia, atividades típicas também encontradas por Filho *et al.* (2010) em uma sub-bacia no semiárido de Pernambuco, o valor da produção específica de sedimentos para a sub-bacia em estudo foi de 115, 5900 t/ km². ano.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial- WMO (2003) pode-se considerar os valores inferiores a 35 t/km².ano como valores aceitáveis e indicativos de baixa produção de sedimentos na região.

Dessa forma, na área estudada, situada em um ambiente semiárido, onde os solos, em geral, são pouco evoluídos, e com pouca cobertura vegetal, associados ao regime de chuvas com distribuição irregular e concentrada, que produzem uma rápida resposta hidrológica da bacia, essa produção de sedimentos de 11,55 t/ km².ano, embora considerado baixo pela classificação da WMO (2003), aponta a necessidade de estudos completos, inclusive com o acompanhamento do hidrograma de sedimentos no período chuvoso, iniciado no mês de junho, bem como, da implantação de medidas de contenção de sedimentos, do escoamento superficial e, do melhor manejo da vegetação local, em benefício dos recursos naturais e da qualidade do ambiente semiárido.

A distribuição granulométrica do material de leito é apresentada, em termos de porcentagens de ocorrência dos grãos, na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagens de ocorrência dos grãos do material do leito do rio Piranhas

Data	D(5)	D(10)	D(18)	D(35)	D(60)	D(80)	D(120)	D(230)
06/03/2012	23,38%	27,18%	16,61%	17,13%	11,29%	0,5%	2,26%	0,6%
12/03/2012	3,55%	2,19%	10,61%	36,08%	29,95%	1,49%	10,86%	4,84%
20/03/2012	3,25%	12,18%	16,4%	23,75%	32,56%	3,26%	6,88%	1,77%
10/04/2012	3,72%	10,12%	23,52%	32,8%	20,2%	2,94%	5,21%	2,84%
23/05/2012	5,73%	9,35%	17,5%	28,92%	22,71%	3,44%	7,21%	1,93%
30/05/2012	18,72%	24,38%	18,33%	20,4%	14,71%	0,68%	1,78%	0,49%
10/06/2012	21,49%	26,19%	15,32%	19,3%	9,42%	0,52%	1,63%	0,34%
22/06/2012	24,27%	28,48%	19,12%	20,73%	13,74%	0,42%	1,22%	0,42%
Valor médio	13%	17,5%	17,2%	24,8%	19,3%	1,7%	4,7%	1,7%

Em que: D(5): diâmetro passante na peneira nº 5 com abertura de malha correspondente a 4mm; D(10): diâmetro passante na peneira nº 10 com abertura de malha correspondente a 2mm; D(18): diâmetro passante na peneira nº 18 com abertura de malha correspondente a 1mm; D(35): diâmetro passante na peneira nº 35 com abertura de malha correspondente a 0,5mm; D(60): diâmetro passante na peneira nº 60 com abertura de malha correspondente a 0,25mm; D(80): diâmetro passante na peneira nº 80 com abertura de malha correspondente a 0,177mm; D(120): diâmetro passante na peneira nº 120 com abertura de malha correspondente a 0,125mm; D(230): diâmetro passante na peneira nº 230 com abertura de malha correspondente a 0,062mm;

A distribuição granulométrica do material de leito é importante, uma vez que, pretende-se no desenvolvimento do trabalho, confeccionar as curvas granulométricas de material de leito, como descrito em Scapin (2005). Considerada uma importante ferramenta de análise do material constituinte do solo, sendo indicador de tendência às perdas de solo em áreas de bacias hidrográficas, é também um instrumento muito utilizado na elaboração de medidas que visem o

melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, na tentativa de minimizar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos. (Branco, 1998)

4 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados obtidos nas 8 medições hidrossedimentométricas realizadas entre os meses de março a junho de 2012. Foi possível observar a variação da concentração de sedimentos em suspensão ao longo do período de amostragens e ainda sua relação com a vazão e a precipitação. Foram calculadas as descargas sólidas, as descargas totais e a produção específica de sedimentos na área de estudo, que correspondeu a 11,55 t/km².ano, embora considerada baixa de acordo com a classificação proposta pela Organização Meteorológica Mundial- WMO (2003) , ela aponta a necessidade de acompanhamento completo do hidrograma de sedimentos, principalmente no período chuvoso, onde os valores de descargas sólidas são intensamente afetados.

As informações aqui apresentadas, embora preliminares, mostram a importância de se buscar a continuidade do monitoramento hidrossedimentométrico, na avaliação da produção de sedimentos na bacia em questão, na tentativa de minimizar os inconvenientes gerados pela deposição de sedimentos e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, especialmente na região semiárida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande- UFCG pelo acesso e utilização do laboratório de Hidrologia pertencente à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental- UACTA/ UFCG e a CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPQ pelo financiamento da pesquisa.

5 - BIBLIOGRAFIA

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/>>. Acessado em: 15 de junho de 2012.

BELLINASSO, T. B. e PAIVA, J. B. D. (2007). *Avaliação da produção de sedimentos em eventos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi- urbana de encosta*. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 12 n. 4. Out/ Dez, 169-181.

- BRANCO, N. (1998). *Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Setor de Irrigação e Drenagem, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CARVALHO, N. O. *et al.* (2005). *Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO*. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Nov, João Pessoa- PB.
- CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro- RJ.
- CARVALHO, N. O. *et al.* (2000). *Guia de Práticas Sedimentométricas*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, ANEEL, Set, Brasília-DF.
- CARVALHO, N. O. (1984). *Cálculo da descarga sólida total pelo método modificado de Einstein – adaptação ao sistema métrico*. Não publicado. Rio de Janeiro- RJ.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª ed. ver. atual e ampliada, Interciência. Rio de Janeiro- RJ.
- CHELLA, M. R.; FERNANDES, C. V. S.; FERMIANO, G. A.; FILL, H. D.; SANTOS, I. (2005). *Avaliação do transporte de sedimentos no Rio Barigui*. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n. 3. Jul/ Set, 105-111.
- CRISPIM, A. M. C. (2005). *Regionalização Hidrológica na região do alto Rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído*. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.
- FILHO, M. C.; CANTALICE, J. R. B.; STOSIC, B.; ARAÚJO, A. M.; PISCOYA, V. C.; ALVES, P. S. (2010). *Produção de sedimentos em suspensão da Bacia Hidrográfica do Riacho Exu no semi-árido Pernambucano*. Anais do IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Out, Brasília-DF.
- RANGEL, E. B. (2009). *Simulação do escoamento com modelo NAVMO e regionalização hidrológica no Sistema Piranhas/ PB – Açu/ RN*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), PPGECA- UFCG, Campina Grande- PB.
- SCAPIM, J. (2005). *Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS*. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM.
- MELO, R. O.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, A. M.; FILHO, M. C. (2008). *Produção de sedimento suspenso de uma típica Bacia Hidrográfica Semi-árida*. Anais do VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Nov, Campo Grande- MS.
- QUILBÉ, R.; ROUSSEAU, A. N.; DUCHEMIN, M.; POULIN, A.; GANBBAZO, G.; VILLENEUVE; J.P. (2006). *Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads*

in streams: Application to the Beaurivage River (Québec, Canada). Journal of Hydrology. 326, 295-310.

TOOTH, S. (2000). *Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research*. *Earth- Science Reviews* v.51, pp. 67 – 107.

WARD, A. D.; TRIMBLE, S. W. (2004). *Environmental hydrology*. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 1995. 475p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). (2003). *Commission for Basic Systems, Extraordinary Session, Seoul*. Abridged final report of the extraordinary session, Seoul 9-16 November. Geneva: WMO, 2003. (WMO (Series), n. 1017). CD-ROM.

WREN, D.G.; BARKDOLL, B. D.; KUHNLE, R.A.; DERROW, D.W. (2000). *Field techniques for suspended sediment measurement*. Journal of Hydraulic Engineering, 126 (2), 97-104.