

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



OLAM - Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil - ISSN: 1982-7784 - está licenciada sob [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Carlos Renato Marcondes¹
Alexandre Augusto Barbosa²

Introdução

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

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

No caso específico dos sedimentos fluviais, quantidade de partículas minerais transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas, deve-se determinar métodos para se obter uma resposta quanto a sua concentração. As

amostras devem ser coletadas juntamente com informações hidrológicas de vazão, nível de água e velocidades de modo a possibilitar a estimativa de carga (CARVALHO; FILIZOLA JÚNIOR, 2000).

O homem, através de suas atividades, influencia consideravelmente o processo de sedimentação natural. Esta influência tanto pode ser benéfica como danosa para seu próprio bem-estar. Um dos resultados gerados por estas atividades é a formação de erosão, que além de produzir sedimento prejudicial, pode causar sérios danos locais nas terras agrícolas pela redução da fertilidade e produtividade do solo. A qualidade dos cursos de água que compõem uma bacia hidrográfica também está relacionada com o uso do solo na bacia. O crescimento demográfico reflete-se numa maior necessidade de produção de alimentos com a incorporação de novas áreas agrícolas, maior ocupação de superfícies para a urbanização, desmatamento entre outras obras, estando assim diretamente relacionado com alterações que ocorrem na vegetação e no solo. A formulação de um projeto de controle de sedimentos inclui vários métodos para redução dos danos e um desses métodos é o controle de erosão das áreas de origem de sedimento. (CARVALHO, 2008).

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

Nas últimas décadas, diversas modelagens têm sido utilizadas em estudos de avaliação do uso do solo e suas influências nos processos de escoamentos superficial e subterrâneo, desprendimento, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Recentemente, modelos hidrossedimentológicos vêm sendo cada vez mais aplicados na medição e na estimativa da produção de

sedimentos em escalas cada vez maiores, trazendo significativas contribuições para a gestão dos recursos hídricos (SILVA; SANTOS, 2008).

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

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

Assim, esses estudos possibilitam melhor compreensão da dinâmica e importância que o rio Sapucaí tem para a região do Sul de Minas, sobretudo nos municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, as quais usufruem dessas águas para consumo humano, para fins industriais e/ou comerciais como extrativismo mineral (dragagem de areia para construção civil) e animal (ictiofauna) e para fins recreativos e de lazer (pesca esportiva), contribuindo, assim, para uma melhor caracterização da bacia em termos de descarga sólida de sedimentos em suspensão, evidenciando seus principais impactos positivos e negativos na região em estudo.

Materiais e Métodos

A metodologia apresentada é bastante relevante em termos práticos, pois é de fácil aplicação em diversos tipos de canais, e permite resultados confiáveis. A partir destes resultados, podem se definir medidas de ação para a mitigação de impactos negativos e manutenção ou intensificação dos impactos positivos causados pelos sedimentos transportados por um curso d'água.

A bacia hidrográfica estudada

Os estudos foram desenvolvidos na Bacia Hidrográfica do rio Sapucaí (GD5), a qual integra a bacia do rio Grande, localizando-se na região sudeste e atravessando dois estados – São Paulo e Minas Gerais (Figura 1).

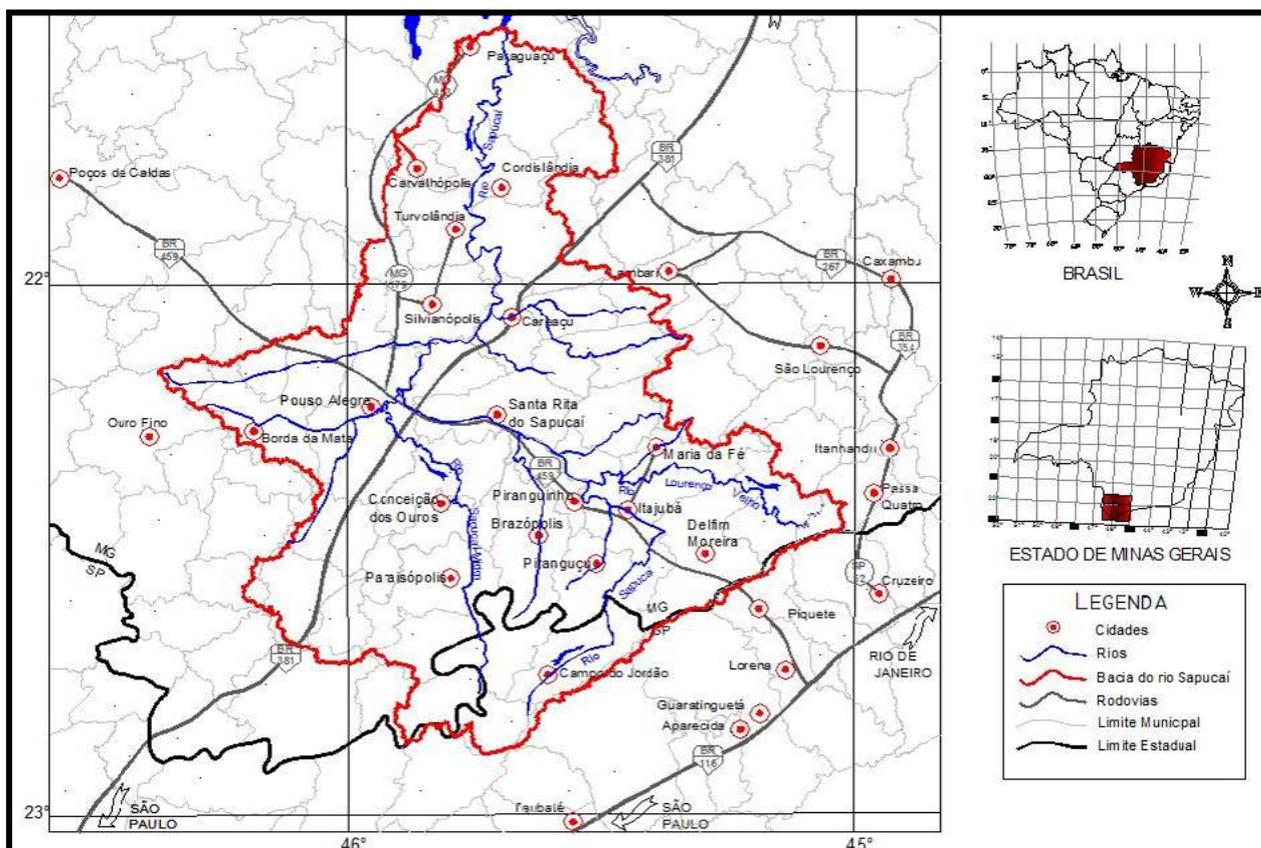


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Sapucaí. Org. por: Carlos Renato Marcondes, 2010.

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

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

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

No que se refere a problemas ambientais, destacam-se, dentre outros, a realização de queimadas, o desmatamento que compromete as matas ciliares, e a

contaminação dos cursos de água por efluentes industriais. Apesar disso, quando comparado ao ano anterior, o Índice de Qualidade das Águas no rio Sapucaí apresentou melhora em pontos situados à montante e à jusante do município de Itajubá, onde o IQAs Médio e Ruim das águas em 2004 passaram para IQA Bom e Médio em 2005, respectivamente. Já o rio Sapucaí-Mirim manteve o resultado de IQA Médio verificado em 2004 (IGAM, 2010).

Localização das áreas de estudo

Foram selecionadas dezessete seções de diferentes cursos d'água na bacia do rio Sapucaí para a avaliação da descarga sólida. As seções escolhidas são locais onde já possuíam estações de monitoramento de enchentes, bem como dados hidrológicos. A figura 2 apresenta o mapa de localização dos pontos de coleta de dados hidrossedimentológico na bacia hidrográfica do rio Sapucaí. Já a tabela 1 apresenta as seções de estudo, juntamente com seu município, curso d'água e as coordenadas UTM, Datum - WGS 84, Zona - 23K.

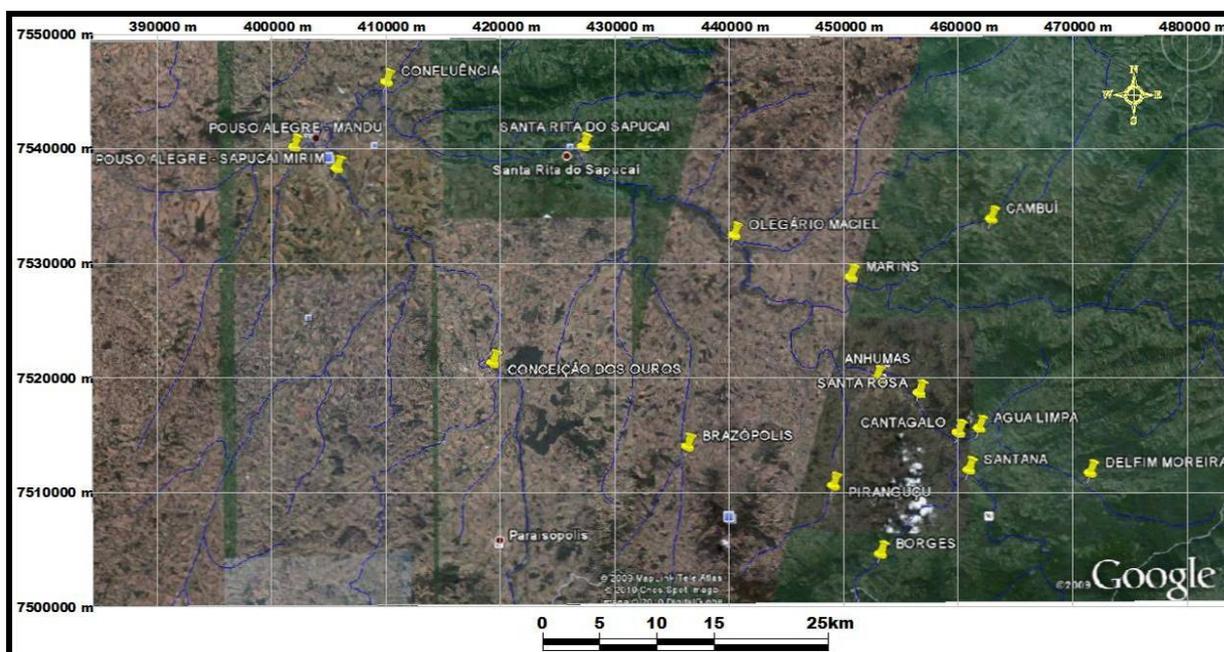


Figura 2. Mapa de localização dos pontos de coletas de dados hidrossedimentológicos (Modificado de Google Earth®). Org. por : Carlos Renato Marcondes (2010).

Tabela 1. Descrição e coordenadas UTM - WGS 84 - 23K das seções.

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

Org. por: Carlos Renato Marcondes (2010).

Segue abaixo fotos de algumas das seções em estudo em diferentes cursos d'água da bacia do rio Sapucaí para uma melhor identificação das mesmas.



Figura 3. Foto Seção ÁGUA LIMPA – Utilização do Qliner. Autor: Carlos Renato Marcondes, Ago. 2009.



Figura 4. Foto Seção CANTAGALO. Autor: Carlos Renato Marcondes, Ago. 2009.



Figura 5. Foto Seção ANHUMAS. Autor: Carlos Renato Marcondes, Jan. 2010.



Figura 6. Foto Seção MARINS – Amostragem de água. Autor: Adriano Campos, Jan. 2010.



Figura 7. Foto Seção CHAPADÃO – Realização da Topobatimetria. Autor: Adriano Campos, Jan. 2010.



Figura 8. Foto Seção CONFLUÊNCIA. Autor: Carlos Renato Marcondes, Jan. 2010.

Avaliação sedimentológica

Segundo Carvalho e Filizola Júnior (2000), a maior parte da descarga sólida, é representada pelo sedimento em suspensão, chegando a representar 95% da descarga sólida total. Por esta razão e pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte dos eventos individuais só contemplam o sedimento em suspensão. Posto isso, para uma avaliação sedimentológica da bacia hidrográfica do rio Sapucaí foi avaliado apenas o sedimento em suspensão no curso d'água, sendo avaliada a descarga sólida em suspensão, a descarga líquida e as características morfológicas das seções estudadas.

Determinação das características das seções transversais

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

Desta forma, em cada seção foi definida a calha do rio no local onde se realizariam as amostragens. Para isso, utilizaram-se uma Estação Total, da marca FOIF e modelo 0TS685L e um prisma, para obtenção de dados confiáveis quanto ao levantamento topobatimétrico. Todas as seções foram georreferenciadas para melhor localização destas no mapa.

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

Na figura 9 pode-se evidenciar um exemplo de perfil topobatimétrico da seção de estudo na captação de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), no rio Sapucaí, bairro Santa Rosa, Itajubá (MG).

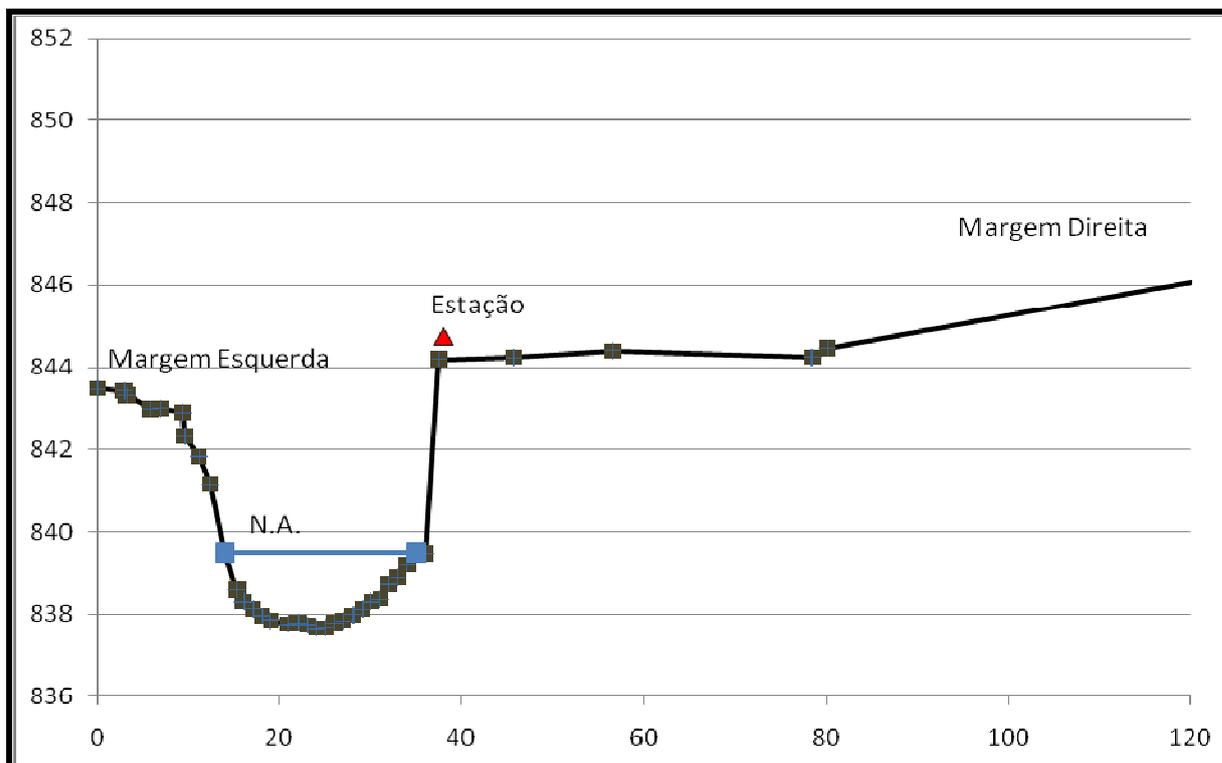


Figura 9. Perfil topobatimétrico da seção Santa Rosa, no Rio Sapucaí em Itajubá (MG). Org. por :Carlos Renato Marcondes(2010).

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

Determinação da descarga líquida

A descarga líquida – também denominada vazão – é definida como o volume de água que flui em determinado ponto do canal num período de tempo e pode ser

expressa em metro cúbico por segundo (m^3/s), ou em litros por segundo (L/s) (TUCCI, 2007). Para a determinação da descarga líquida utilizou-se a seção molhada definida anteriormente e com o auxílio de um equipamento de medições hidrométricas OTT *Qliner* modelo 247840 (*Qliner*), o qual possui sensores ultrassônicos, utilizando assim o princípio do efeito Doppler para calcular a velocidade do escoamento, a profundidade do rio ou seção, realizando a batimetria, determinando os perfis de velocidade, e por fim, calculando a vazão.

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

A aquisição e processamento dos dados captados pelo *Qliner* ocorre através do software “*Qliner for Pocket PC*”, desenvolvido para a plataforma *Windows Mobile*. O programa realiza a conexão ao perfilador, configuração, acompanhamento, visualização e pré-análise das medições. No modo de acompanhamento e visualização das medições, podem ser visualizados dados tabulares de velocidade, profundidade e vazão de cada vertical.

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

Determinação da descarga sólida em suspensão

Como já mencionado, o sedimento em suspensão representa na maioria dos casos a maior quantidade de descarga sólida total, e por isso que as medições deste

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

Definição da amostragem

As amostragens são realizadas por integrações pontuais na vertical, para que estas tenham boa representatividade da carga sólida da seção estudada. O número de verticais em cada seção e o número de pontos de coleta de água referente a cada vertical depende das características das seções transversais. Nesse estudo coletaram-se seis amostras de cada seção estudada de acordo com o seguinte procedimento: uma amostra de superfície de cada margem: esquerda e direita; uma amostra de fundo de cada margem: esquerda e direita; uma amostra de fundo e outra de superfície da região média da seção estudada. Assim, o material coletado acumulava a mistura água sedimento, desde o ponto próximo ao leito do rio até a superfície.

As amostras foram acondicionadas em frascos apropriados e em caixas térmicas com gelo a uma temperatura de aproximadamente 4°C para sua preservação, para posteriormente serem enviadas ao laboratório para análise do material e obtenção do teor de sólidos totais. Em laboratório, obteve-se os valores das concentrações pontuais em mg/L.

Análise da concentração de sólidos totais em laboratório

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

totais Método 2540D do *Standard Methods for the Examination os Water and Wasterwater* (EATON et. al., 2005).

Para tanto, pesou-se os cadinhos esterilizados em mufla por 2h a 550°C; um para cada amostra, e anotou-se P_1 – a massa de cada um vazio. Então, transferiu-se 100 mL da amostra aos recipientes cerâmicos, que foram colocados em estufa a 105°C por 24h. Feito isso, armazenou-se os cadinhos em dessecador de vidro, fazendo vácuo no mesmo com o auxílio de um compressor e aspirador, com o objetivo de extrair a umidade excedente nos cadinhos e aguardar o resfriamento destes, até a temperatura ambiente.

Assim, anotou-se a massa dos cadinhos novamente – P_2 . A partir disto, foi possível calcular a quantidade de sólidos totais presentes nas amostras a partir da **Equação 1** abaixo:

$$\text{Equação 1: } S = \frac{(P_1 - P_2)}{V}$$

Onde,

S = sólidos totais, apresentado em mg/L;

P_1 e P_2 = são as massas anotadas do cadinho em mg, após a esterilização e após a passagem dos cadinhos com amostra na estufa respectivamente .

V = volume da amostra, em L.

Todo o procedimento foi realizado em triplicada para cada amostra de maneira a minimizar o erro experimental. Dessa forma, pode-se obter a concentração de sólidos totais em cada seção estudada a partir das médias aritméticas dos valores de sólidos totais presentes nas amostras de cada seção.

Cálculo da descarga sólida em suspensão

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

$$\text{Equação 2: } \bar{S} = \frac{1}{A} \int_a C_p.dA = \frac{1}{A} \int_x \int_y C_p.dy.dx$$

Onde,

C_p – Concentração pontual (mg/L);

A – Área da seção molhada (m²);

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

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

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

$$\text{Equação 3: } Q_{ss} = 0.0864.\bar{S}.Q$$

Onde,

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

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

Q – Descarga líquida (m³/s).

Resultados e Discussão

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

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

Apresentação dos resultados

Foram obtidos os valores referentes à descarga líquida, concentração média de sedimentos na seção e a descarga sólida das regiões estudadas. O quadro 1 abaixo apresenta a concentração média de sólidos (S), dada em mg/L, em cada seção de estudo.

Quadro 1. Resultados da concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L)

Seção	Município	Curso d'água	Data	S (mg/L)
DELFIN MOREIRA	Delfim Moreira (MG)	Ribeirão do Taboão	22/07/2009	94,00
BORGES	Wenceslau Braz (MG)	Rio Sapucaí	22/07/2009	71,50
SANTANA	Wenceslau Braz (MG)	Rio de Bicas	22/07/2009	184,83
ÁGUA LIMPA	Itajubá (MG)	Rio Santo Antônio	15/08/2009	148,67
CANTAGALO	Itajubá (MG)	Rio Sapucaí	15/08/2009	157,17
SANTA ROSA	Itajubá (MG)	Rio Sapucaí	15/08/2009	139,33
MARINS	São José do Alegre (MG)	Rio Lourenço Velho	05/01/2010	779,00
OLEGARIO MACIEL	Piranguinho (MG)	Rio Sapucaí	05/01/2010	213,00
SANTA RITA	Santa Rita do Sapucaí (MG)	Rio Sapucaí	06/01/2010	139,67
CONFLUÊNCIA	Pouso Alegre (MG)	Rio Sapucaí	06/01/2010	115,67
CHAPADÃO	Pouso Alegre (MG)	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	330,33
MANDU	Pouso Alegre (MG)	Rio Mandu	07/01/2010	173,33
CONCEIÇÃO DOS OUROS	Conceição dos Ouros (MG)	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	287,00
BRAZÓPOLIS	Brazópolis (MG)	Ribeirão da Vargem Grande	07/01/2010	101,33
ANHUMAS	Itajubá (MG)	Ribeirão das Anhumas	11/01/2010	190,00
PIRANGUÇU	Piranguçu (MG)	Ribeirão do Piranguçu	11/01/2010	186,00
CAMBUÍ	Maria da Fé (MG)	Córrego do Cambuí	11/01/2010	299,00

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

A partir dos valores de concentração de sedimentos e da descarga líquida na seção em estudo, pode-se, enfim, calcular a descarga sólida em suspensão. Dessa forma, a tabela 2 apresenta os valores de descarga líquida (Q) em m³/s e de descarga sólida (Q_{ss}) em t/dia.

Tabela 2. Resultados da descarga líquida (m³/s) e da descarga sólida em suspensão (t/dia)

Seção	Curso d'água	Data	Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)
DELFIN MOREIRA	Ribeirão do Taboão	22/07/2009	1,356	11,01
BORGES	Rio Sapucaí	22/07/2009	5,694	35,18
SANTANA	Rio de Bicas	22/07/2009	1,644	26,25
ÁGUA LIMPA	Rio Santo Antônio	15/08/2009	2,569	33,00
CANTAGALO	Rio Sapucaí	15/08/2009	11,100	150,73
SANTA ROSA	Rio Sapucaí	15/08/2009	11,741	141,34
MARINS	Rio Lourenço Velho	05/01/2010	25,393	1.709,09
OLEGARIO MACIEL	Rio Sapucaí	05/01/2010	99,321	1.827,82
SANTA RITA	Rio Sapucaí	06/01/2010	138,430	1.670,50
CONFLUÊNCIA	Rio Sapucaí	06/01/2010	270,560	2.703,95
CHAPADÃO	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	77,895	2.223,16
MANDU	Rio Mandu	07/01/2010	13,904	208,22
CONCEIÇÃO DOS OUROS	Rio Sapucaí Mirim	07/01/2010	49,534	1.228,28
BRAZÓPOLIS	Ribeirão da Vargem Grande	07/01/2010	6,232	54,56
ANHUMAS	Ribeirão das Anhumas	11/01/2010	0,038	0,62
PIRANGUÇU	Ribeirão do Piranguçu	11/01/2010	3,048	48,98
CAMBUÍ	Córrego do Cambuí	11/01/2010	0,178	4,60

Org. por: Carlos Renato Marcondes (2010).

Os valores de descarga sólida em suspensão obtidos neste trabalho foram inseridos na curva-chave de transporte de sedimentos da bacia do Alto do Sapucaí, obtida por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008). A tabela 2 apresenta os dados de descarga líquida e descarga sólida em suspensão, obtidos pelos mesmos autores. Comparando os dados das tabelas 2 e 3, pode-se observar a existência de seções estudadas por ambos trabalhos nessa bacia, tais como Delfim Moreira, Brazópolis, Borges, Santa Rosa e Olegário Maciel, todas localizadas na porção mineira da bacia.

Tabela 3. Resultados da descarga líquida (m³/s) e da descarga sólida em suspensão (t/dia) obtidos por Maia (2005); Sarlas et al. (2008).

Seção	Curso d'água	Data	Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)
Nascente	Ribeirão de José Pereira	19/07/2005	0,017	0,01
Igreja São Francisco de Assis	Ribeirão de José Pereira	20/08/2005	0,042	0,14
Bairro Pinheirinho	Ribeirão de José Pereira	19/08/2005	0,320	2,99
Bairro da Barra	Rio Lourenço Velho	21/07/2005	3,000	82,83
Bairro do Rio Manso	Rio Lourenço Velho	03/08/2005	6,710	208,78
Bairro Ano Bom	Rio Lourenço Velho	25/07/2005	7,224	420,40
Delfim Moreira*	Ribeirão do Taboão	07/10/2005	0,484	11,03
Confluência com Sapucaí	Rio Santo Antônio	09/09/2005	2,400	68,57
Nascente	Ribeirão das Anhumas	12/08/2005	0,003	0,04
Confluência com Sapucaí	Ribeirão das Anhumas	11/08/2005	0,164	2,87
Nascente	Ribeirão do Piranguçu	28/07/2005	0,181	4,13
Confluência com Sapucaí	Ribeirão do Piranguçu	26/08/2005	1,303	13,70
Brazópolis – COPASA*	Ribeirão da Vargem Grande	27/08/2005	0,910	10,99
Antes do Córrego do Teodoro	Ribeirão da Vargem Grande	02/09/2005	1,000	31,57
Depois do Córrego do Teodoro	Ribeirão da Vargem Grande	27/07/2005	1,840	12,01
Confluência com Sapucaí	Ribeirão da Vargem Grande	05/08/2005	3,690	76,81
Borges*	Rio Sapucaí	13/08/2005	6,467	952,19
Antes da confluência com o Santo Antônio	Rio Sapucaí	21/09/2005	6,634	221,63
Depois da confluência com o Santo Antônio	Rio Sapucaí	20/10/2005	9,225	250,73
Santa Rosa*	Rio Sapucaí	08/09/2005	8,954	386,27
Pessegueiro	Rio Sapucaí	10/10/2005	13,155	765,19
Olegário Maciel*	Rio Sapucaí	31/08/2005	18,178	405,67

*= Seções coincidentes no estudo de Maia (2005), Sarlas et al. (2008) e no presente estudo.

Logo, ao reunir esses dados, foi possível ajustar a curva-chave de sedimentos obtida por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008) com os valores obtidos na bacia do rio Sapucaí nesse trabalho. Esta curva-chave determina a descarga sólida em suspensão média a partir das descargas líquidas nos respectivos cursos d'água em estudo. No gráfico exposto na figura 10, os pontos em azul correspondem aos valores obtidos em 2009 e 2010 e os vermelhos em 2005.

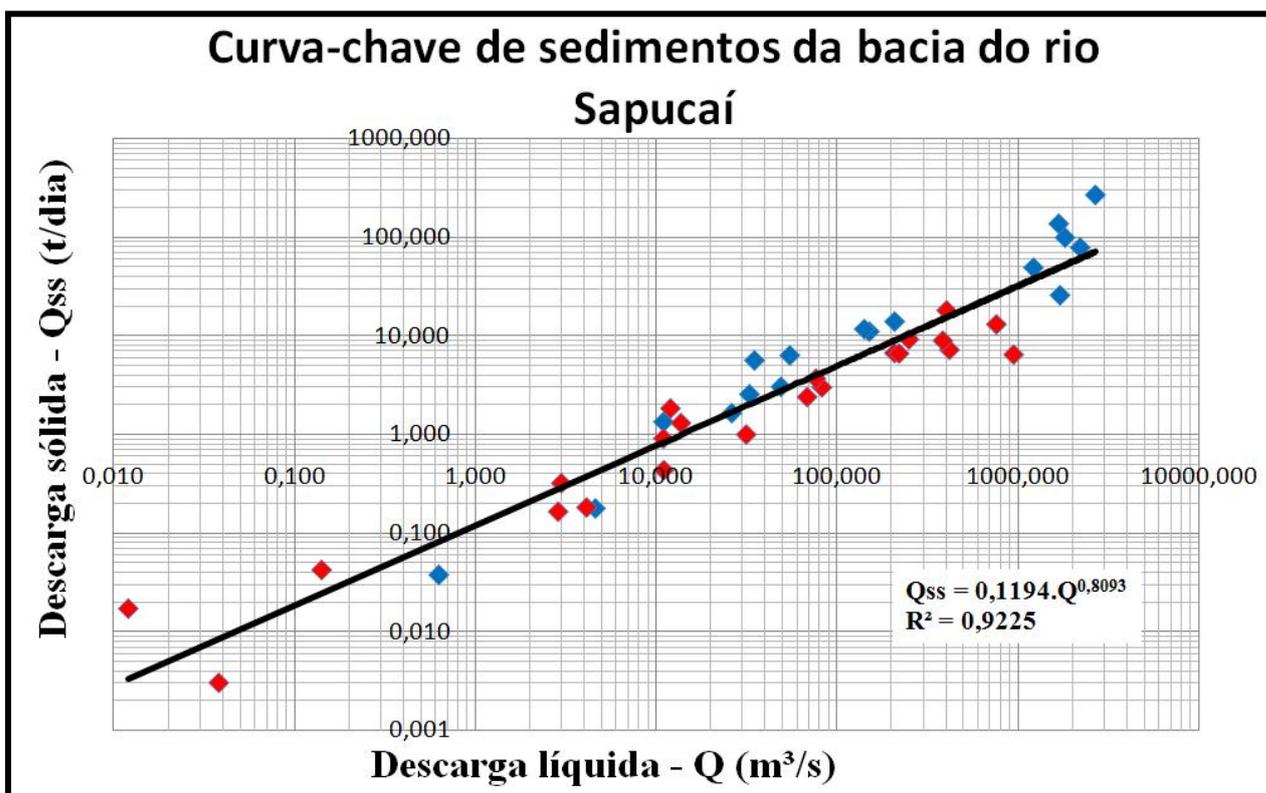


Figura 10. Curva-chave de sedimentos da bacia do rio Sapucaí. Org. por: Carlos Renato Marcondes (2010).

Neste estudo, os resultados de descarga sólida foram relacionados matematicamente, através de uma função e uma curva-chave que possuem a descarga líquida como variável principal. Isso significa que os valores de descarga sólida em suspensão obtidos compuseram a curva-chave de sedimentos gerada por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008). Assim, relaciona-se a descarga sólida em suspensão com a descarga líquida na região de estudo. Isso permite avaliações

futuras do transporte de sedimentos na bacia do rio Sapucaí de maneira rápida e satisfatória, uma vez que a descarga sólida, com a modelagem matemática aplicada por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008) e ajustada neste estudo, é atrelada à variação de descarga líquida na região.

Dessa forma, eliminou-se a necessidade de coleta e análises de dados periódicos para descarga sólida em suspensão. Segundo Li et al. (2006) e também a realidade do presente estudo, quando comparado a descarga sólida em suspensão à descarga líquida, esta é mais demorada e onerosa. Contudo, mesmo com os orçamentos limitados, foi possível alcançar em equilíbrio entre a precisão e o custo.

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

Discussão dos resultados

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

Esta bacia tem fundamental importância para o Sul do estado de Minas Gerais, sobretudo nos municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, uma vez que suas águas são utilizadas para recreação, atividades industriais – como extração de areia para construção civil e, principalmente, para o abastecimento público dessa região.

Em termos de avaliação da descarga líquida realizada nas dezessete seções de controle, foi possível verificar quais são os principais contribuintes para a vazão nessa bacia. Os três maiores contribuintes foram o rio Sapucaí Mirim, com uma vazão de 77,895 m³/s em uma estação de bombeamento da COPASA em Pouso

Alegre (MG); em seguida o rio Lourenço Velho, com uma vazão de 25,393 m³/s no bairro dos Marins em São José do Alegre (MG), e, por fim, o rio Mandu com uma vazão de 13,904 m³/s também em outra estação de bombeamento da COPASA em Pouso Alegre (MG).

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

A ação antrópica reflete diretamente no valor da descarga sólida em suspensão, uma vez que, como consta no trabalho de Liu et al. (2008), a presença humana no entorno facilita o carreamento de partículas para a calha do curso hídrico, pois o processo de erosão do solo, acelerado pelas atividades antropogênicas, tais como a remoção de vegetação de superfície, exploração florestal, pastoreio das pastagens, a superfície de mineração e urbanização, implementos de preparo, equipamentos de colheita florestal, atividades de mineração e de construção, entre outras, perturbam a estrutura do solo, compactando e favorecendo o escoamento superficial da água, além disso, há maior descarga de efluentes domésticos no rio, sobretudo, sem tratamento.

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

Os pares de valores de descarga sólida em suspensão e descarga líquida obtidos nas 17 seções de estudo deste trabalho, quando plotados na curva chave obtida por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008) apresentam uma grande coerência, ou seja, o modelo retrata de maneira satisfatória a descarga sólida em função da descarga líquida. Isto é verificado pelo valor de correlação R² no ajuste desses

dados plotados que foi de 0,9225 e, por estar próximo de 1, pode-se dizer que o modelo está bastante representativo.

As concentrações de sedimentos apresentaram-se menores que os valores encontrados por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008) nas seções coincidentes nesses estudos – Delfim Moreira, Borges, Santa Rosa, Brazópolis e Olegário Maciel, como mostra a tabela 4.

Tabela 4. Concentração média de sólidos totais em suspensão (mg/L) em seções coincidentes no ano de 2005 e 2009/2010

Seção	S ₁ (mg/L)	Data	S ₂ (mg/L)	Data
DELFIN MOREIRA	263,84	01/10/2005	94,00	22/07/2009
BORGES	1704,14	13/08/2005	71,50	22/07/2009
SANTA ROSA	499,30	08/09/2005	139,33	15/08/2009
BRAZÓPOLIS	139,77	27/08/2005	101,33	07/01/2010
OLEGÁRIO MACIEL	258,295	31/08/2005	213,00	05/01/2010

Os valores encontrados em julho e agosto de 2009 foram menores do que os encontrados em agosto, setembro e outubro de 2005, para Delfim Moreira, Borges e Santa Rosa, podendo este fato ser explicado pelo fato de que o mês de julho costuma apresentar um menor volume de chuvas que em setembro e outubro, nessa região. Desta forma, menor quantidade de sedimentos é carregada para os corpos hídricos e, conseqüentemente, transportada em suspensão. Contudo, os valores encontrados em agosto de 2005 e janeiro de 2010 para Brazópolis e Olegário Maciel, embora menores em 2010, estão bastante próximos. Isso pode ser explicado pelo fato de que em agosto de 2005, provavelmente teve incidências de chuvas na região em estudo.

A descarga sólida observada nas 17 seções estudadas apresentaram-se de acordo com o que era esperado, haja visto os estudos realizados por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008). Isto porque, apesar dos valores de descarga líquida e descarga

sólida obtidos em 2009 e 2010 terem sido diferentes dos valores obtidos em 2005, a inserção destes na curva chave obtida por Maia (2005) e Sarlas et al. (2008) não influenciou significativamente no ajuste do modelo. Isto reafirma que estes estudos podem ser utilizados para avaliações futuras dos cursos d'água da região.

Percebe-se no presente estudo, que na seção Marins, no rio Lourenço Velho, nas seções Chapadão e Conceição dos Ouros, no rio Sapucaí Mirim, e na seção Maria da Fé, no córrego do Cambuí, apresentaram carga sólida bastante superior às demais seções analisadas. Tais resultados podem ser atribuídos a grande influência antrópica nessas seções, como descargas de efluentes domésticos diretamente no corpo d'água, uma vez que existem aglomerados residenciais próximas a essas seções de estudo, além ainda de solos nus e/ou com pastagens devido às práticas agropecuárias, tão significantes na região.

Conclusão

O estudo do transporte de sedimentos é uma importante ferramenta para caracterização dos corpos hídricos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade e quantidade de água dos corpos aquáticos, pois podem ser veículos de transporte de microrganismos, como conter partículas tóxicas e, sobretudo, intensificam o assoreamento dos rios.

Os cursos d'água da bacia apresentam uma quantidade significativa de sedimentos transportados, sobretudo para a calha principal do rio Sapucaí, além das notáveis contribuições do rio Sapucaí Mirim e do rio Lourenço Velho. Observou-se ainda que é necessário recuperar o ambiente em torno dos cursos d'água da região estudada, de maneira a minimizar a quantidade de sedimentos transportados nos corpos hídricos. Ações como a coleta e destinação adequada de efluentes domésticos e industriais, fiscalização assídua nas dragas de areia, além da recomposição da mata ciliar podem minimizar a quantidade de sedimentos que chegam e são transportados pelos córregos, ribeirões e rios, uma vez que,

municípios como Delfim Moreira, Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, usufruem dessas águas para consumo humano, para fins industriais e/ou comerciais como extrativismo mineral e animal, geração de energia elétrica e ainda para fins recreativos e de lazer, sendo assim, mais susceptível a qualquer anormalidade dos sedimentos transportados.

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

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

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

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

Referências

- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2005.
- HOROWITZ, A. J. Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes. **Science of the Total Environment**, Atlanta, v.400, p. 315-343, 2008.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Comitê de Bacias Hidrográficas, Unidades de Planejamento, Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. 10 de maio de 2010. Disponível em: < <http://www.igam.mg.gov.br/comites-de-bacias/unidades-de-planejamento>>. Acesso em: 10 de maio de 2010.
- LI, Z.; ZHANG, Y. K.; SCHILLING, K.; SKOPEC, M. Cokriging estimation of daily suspended sediment loads. **Journal of Hydrology**, Iowa City, v. 327, p. 389-398, 2006.
- LIU, C.; SUI, J.; WANG, Z. Y. Sediment load reduction in chinese rivers. **International Journal of Sediment Research**, Beijing, v. 23, n. 1, p. 44-55, 2008.
- MAIA, J.L. **Estabelecimento de vazões de outorga na bacia hidrográfica do alto Sapucaí, com a utilização da sazonalidade**. 2003, 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI – MG). 2003.
- MAIA, K. A. **Avaliação da descarga sólida em suspensão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí**. 2005, 62f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI – MG). 2005.
- RICARDO, M.; VIANA, A.N.C.; SILVA, L.P.; BERNARDES, M.E.C. Análise e aplicação de perfiladores acústicos Doppler para medição de vazão em Pequenas Centrais Hidrelétricas. **VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**, Belo Horizonte (MG), 21 a 25 de abril de 2008.
- ROVIRA, A.; BATALLA, R. J. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN). **Geomorphology**, Lleida, v. 79, p. 58-71, 2006.

SARLAS, T. L. B.; MAIA, J. L.; BARBOSA, A. A.; MAUAD, F. F. Avaliação da descarga sólida em suspensão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Sapucaí. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro – SP, v. 8, n. 3, p. 368-385, Jul. 2008.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 12, n. V, p-520-526, 2008.

TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**, 4ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2007.

RESUMO

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

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

ABSTRACT

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

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

Nota

Trabalho originado de dissertação a ser apresentada ao Curso de Mestrado da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciências em Engenharia da Energia, área de concentração em “Energia, Sociedade e Meio Ambiente”.

Informações sobre os autores:

¹Carlos Renato Marcondes - <http://lattes.cnpq.br/7965518511051864>
Engenheiro Ambiental, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá (MG).
Contato: callmarcondes@yahoo.com.br

²Alexandre Augusto Barbosa - <http://lattes.cnpq.br/3079634479646035>
Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica e Doutor em Engenharia Ambiental, atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá (MG).
Contato: barbosa@unifei.edu.br



OLAM - Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil - ISSN: 1982-7784 - está licenciada sob [Licença Creative Commons](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)

Recebido: 18-07-2010
Aprovado: 25-08-2010