

ESTUDO PRELIMINAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO AMAZONICA, MT

Rafael Alberto Menon¹; Frederico Terra de Almeida²; Luciano Félix de Figueiredo, Jackson dos Santos da Silva, Adilson Pacheco de Souza, Jonatan Iago Dorneles, Cornélio Alberto Zolin, Eduardo Morgan Uliana, Marcus Metri Correa

RESUMO --- O gerenciamento dos recursos hídricos tem dentre suas atividades o monitoramento e caracterização do uso e ocupação do solo e da água de bacias hidrográficas, bem como de seus efeitos no ecossistema aquático. A região Amazônica, mas especificamente a Bacia do Rio Teles Pires, tem sido planejada para utilização de suas águas para diversos empreendimentos de geração de energia elétrica, com diversas barragens em fase de planejamento, licenciamento ou construção. A efetividade destes processos passa por estudos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica. Assim o objetivo deste trabalho foi monitorar a descarga de sedimento em suspensão de uma microbacia hidrográfica na região Amazônica, do Rio Caiabi, de forma a quantificar a carga sólida desta área e correlacionar com o uso e ocupação do solo da região. Monitorou-se a descarga líquida e a descarga sólida em suspensão por meio de diversas campanhas, ainda apenas no período seco. A metodologia de coleta de amostras de sedimentos foi a IIL. Verificou-se boa correlação da curva chave e da descarga líquida e sólida, e ainda que esta microbacia tem uma baixa descarga sólida, e assim em baixo estado de eutrofização.

ABSTRACT --- The water resources management has among its activities, the monitoring and characterization of the use and occupation of the land and watershed water as well as its effects in the aquatic ecosystem. The Amazon region, specifically the Teles Pires River Basin, has been arranged to the use of its waters for various projects of energy power generation, with several dams in the planning, licensing or construction stages. The effectiveness of these processes undergoes hydrosedimentological studies of a watershed. Therefore, the aim of this study was to monitor the discharge of suspended sediment in a micro basin in the Amazon region, Rio Caiabi, in order to quantify the area's dry load and correlate it with the use and occupation of the region. The water and sediment discharge in suspension was monitored through several campaigns, even in the dry period. The methodology of the sediment sampling was IIL. There was found a good correlation of key

¹ Mestrando em Ciências Ambientais, UFMT Av. Alexandre Ferronato, 1.200. Sinop (MT). Email: eng.menon@yahoo.com.br

² Professor Dr. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT / Campus Sinop (MT).. Email: fredterr@gmail.com

² Professor Dr. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Dep. Tecnologia Rural (DTR). Email: marcus.metri@gmail.com

curve and liquid and solid discharge, and even that this micro Basin has a low sediment discharge, and it is in a low state of eutrophication.

Palavras-chave: vazão sólida, microbacia hidrográfica rural, monitoramento.

INTRODUÇÃO

A partir de 1997, com a publicação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, disseminou-se uma nova visão a respeito do aproveitamento hídrico de barramentos. Antes voltadas apenas ao objetivo de sua construção, as barragens geravam grandes áreas alagadas com apenas um propósito, no entanto essa concepção foi modificada, enfatizando-se os múltiplos usos, tais como lazer, irrigação, pesca esportiva, turismo, dentre outros.

As inúmeras vantagens do aproveitamento múltiplo para a implantação de usinas hidrelétricas, não dizem respeito apenas à redução dos custos para geração de energia, mas também aos benefícios sociais criados. O uso integrado da água pode, de certa forma, caracterizar melhor o conceito de desenvolvimento sustentável, sendo mais próximo das necessidades das populações locais. Se um recurso possibilita diversos tipos de uso, não se justifica usá-lo para um só (CRUZ CASTRO; FABRIZY, 1995).

O Estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, perfazendo em uma área de 903.357,908 Km², e é a terceira maior unidade federativa do Brasil, o que representa 56,23% da Região Centro-Oeste e 10,61% de todo o território brasileiro (IBGE, 2013). Além da grande extensão territorial, o Estado é reconhecido como o maior produtor de grãos do país, sendo responsável por 28,9% da produção nacional de soja e 24,2% da produção nacional de milho. Vinculando-se tais fatores é fácil concluir que há grandes áreas florestais desmatadas, sendo que no ano de 2013 o Estado possuía 20.616.000,9 ha voltados à produção agrícola, ou seja, 62,3 % do território estadual (CONAB, 2013).

O Estado está inserido em três macro bacias hidrográficas (Amazônica, Tocantins-Araguaia e Platina) e em três biomas distintos (Amazônia, Pantanal e Cerrado), possuindo, portanto heterogeneidade de paisagens, biodiversidade e recursos naturais. Dentre os principais rios que banham o Estado, pode-se citar o Xingu, Juruena, Guaporé, Tapajós, Cuiabá e o Teles Pires.

Com extensão total de 1.431 km, o rio Teles Pires nasce no Estado de Mato Grosso, entre as serras Azul e do Finca Faca, a uma altitude média de 800 m. Ele se desenvolve no sentido Sudeste-Noroeste e, ao encontrar a foz do rio Paranaíta, um de seus afluentes, passa a representar a divisão territorial entre Mato Grosso e Pará, até encontrar sua foz, no rio Tapajós, a uma altitude aproximada de 95 m. Este rio está recebendo grande investimento na área de geração de energia

hidroelétrica, contando atualmente com 4 barragens em fase de construção e/ou planejamento. Encontram-se em implantação as Usinas Hidrelétricas Sinop e Colíder, e em fase de planejamento as UHE's de Teles Pires, e de São Manoel.

A erosão ocorre quando as perdas anuais de solo num determinado local são superiores às perdas toleráveis pelos tipos de solo presentes nesse local, equivalente à sua taxa de produção (CATALÃO; PACHECO, 2010). O gerenciamento de bacias hidrográficas é um fator importante a ser levado em conta durante o planejamento de barragens, visto que os sedimentos são originados principalmente de processos erosivos. A falta de planejamento do uso do solo pode levar a processos erosivos em intensidade e velocidade que ultrapassam os limites de tolerância (MELLO et al., 2006; VALLADARES, 2012).

Um dos fatores mais importantes para o cálculo da vida útil das barragens é o transporte de sedimentos pelo rio. Uma vez que a velocidade da água diminui próxima a elas, ocorre a deposição de sedimentos. Tal fenômeno, além de diminuir a vida útil da barragem e acarretar danos à infraestrutura, também degrada a qualidade da água para consumo humano, recreação, uso industrial, além de ocasionar perdas à biodiversidade étrica por Marques (1949), sugerem uma perda anual de solo por erosão de cerca de 500 milhões de toneladas (WEILL; SPAROVECK, 2008).

O estudo hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica, além de ser uma importante ferramenta de apoio para análises sobre o estado de degradação de uma bacia, é fundamental para o planejamento dos aproveitamentos dos recursos hídricos de uma região (Siviero e Coiado, 1999). Assim o objetivo deste trabalho foi monitorar a descarga de sedimento em suspensão de uma microbacia hidrográfica na região Amazônica, do Rio Caiabi, de forma a quantificar a carga sólida desta área e correlacionar com o uso e ocupação do solo da região.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção médio norte do estado do Mato Grosso conforme ilustrado na figura 1 e as características morfométricas da área da microbacia hidrográfica do rio Caiabi podem ser visualizadas na tabela 1.

A bacia já vem sendo monitorada em na sua vazão desde 2011, porém apenas em 2013 deram-se início os monitoramentos de sedimentos em suspensão, e em 2014 de fundo. Á área é ocupada predominantemente por latifúndios que exploram a pecuária e a agricultura, e também

próximo à nascente de um dos córregos que formam o rio existe uma porção urbana. O sistema de manejo mais usado na região é a sucessão de culturas de soja e milho utilizando plantio direto, cultivo mínimo e terraceamento em curvas de nível, porém existem novas formas de uso e manejo solo, com integração lavoura-pecuária e também rotação entre pastagem e agricultura.

A seção escolhida para a instalação do linígrafo encontra-se aproximadamente há 5 km da foz do rio Caiabi, o qual deságua no rio Teles Pires.

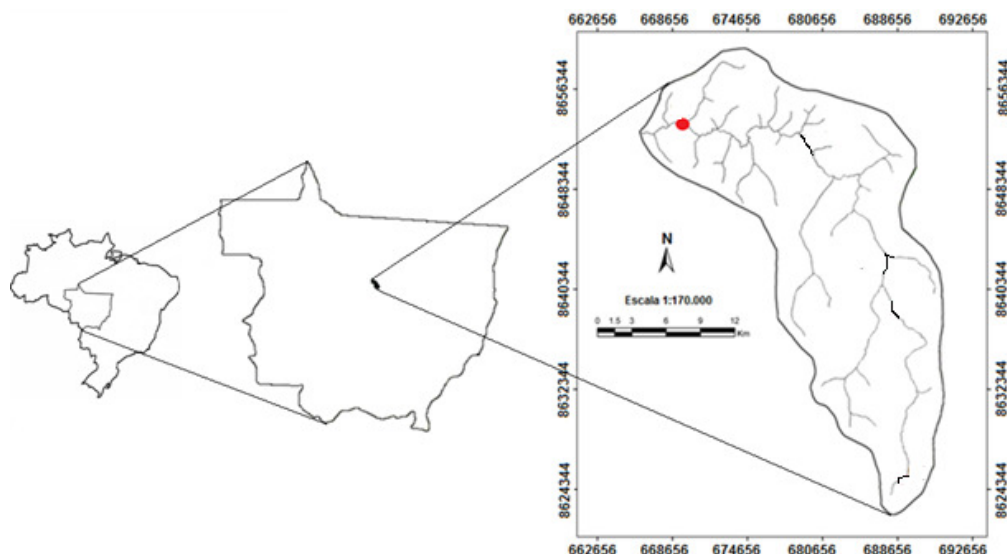


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi. Em vermelho é onde está localizada a estação fluviométrica

Tabela 1 - Características morfométricas da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi.

CARACTERISTICA	VALOR
Área	439,40 Km ²
Perímetro	182,16 Km
Comprimento Total Dos Cursos Dagua	135,38Km
Comprimento Do Rio Principal	51,17KM
Kc	2,43
F	0,33
Dd	0,31KM/KM ²
Declividade Da Bacia(Max, Méd. E Min)	13,59%, 2,25% e 0
Declividade Do Rio Principal	2,27%
Altitude Média	378,18m
Classificação Climática	B2wA'a' *
Precipitação Médiaa Anual	1974,47mm*

* - Fonte: **Pacheco et al (2013)**

Determinação da Descarga Líquida

As medições foram feitas com uma periodicidade aproximadamente mensal contemplando períodos chuvosos e secos. Para a realização das medidas utilizou-se de um molinete modelo MLN-7, da fabricante JCTM Comércio e Tecnologia Ltda. Como critério de escolha do número de verticais a serem amostradas, bem como para o cálculo do número de amostras por vertical, foram utilizadas as tabelas 1 e 2. Como o rio possui largura máxima de 15 metros, as medidas de velocidade foram feitas a cada metro. A cada dia de amostragem, mediu-se a seção do rio a fim de obter a área da mesma, bem como as alturas correspondentes à medida da velocidade com o molinete. Em seguida mediu-se três vezes o número de rotações a cada 30 segundos em cada profundidade especificada para cada vertical, tomando-se o cuidado para que as três medidas fossem iguais, e quando isso não era possível, o mais semelhante possível, evitando assim variações nas medições. Após as três medidas, fez-se a média entre elas obtendo-se um valor médio de rotações para trinta segundos; dividindo-se essa média por trinta obteve-se o número de rotações por segundo. Cada molinete possui uma equação própria especificada pelo fabricante sendo que esta equação apresenta uma relação linear entre a velocidade e o número de rotações obtidas em uma leitura. A equação do molinete usado é:

$$V = a * n + b \quad (1)$$

Onde:

V = velocidade em m/s;

N = número de rotações por segundo; e

a e b = parâmetros característicos do molinete, sendo eles 1,0213 e 0,0063 respectivamente.

E para o cálculo da vazão média foi utilizada a seguinte fórmula:

$$V_m = \frac{V_{20\%} + 2 * V_{60\%} + V_{80\%}}{4} \quad (2)$$

Onde:

V_m = velocidade média; e

V₂₀, V₆₀ e V₈₀: velocidades obtidas para 20, 60 e 80% da profundidade da seção, respectivamente.

Tabela 2. Recomendação de distância entre verticais para a medição de velocidade da corrente.

Fonte: SANTOS et al. (2001)

Largura do Rio(m)	Distância entre verticais(m)
$\leq 3,00$	0,30
3,00-6,00	0,50
6,00-15,00	1,00
15,00-30,00	2,00
30,00-50,00	3,00
50,00-80,00	4,00
80,00-150,00	6,00
150,00-250,00	8,00
$\geq 250,00$	12,00

Tabela 3.Recomendação do numero de amostras em uma vertical e fórmulas para o cálculo da velocidade média. Fonte: SANTOS et al. (2001)

Nº de pontos	Posição Vertical em relação à profundidade(p)	Calculo da velocidade média(Vm) na vertical	Profundidade(m)
1	0,60p	$V_m = V_{0,60}$	0,15 - 0,6
2	0,20 e 0,80p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$	0,60-1,20
3	0,20; 0,60 e 0,80p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/4$	1,20-2,00
4	0,20; 0,40;0,60 e 0,80p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,4} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/6$	2,00-4,00
5	Sup., 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e Fundo	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]/10$	>4,00
Vs - Velocidade medida na superfície e Vf - Velocidade medida no fundo			

O cálculo da vazão foi feito multiplicando-se a velocidade média de uma dada vertical pela sua área de influência. A área de influência de uma dada vertical foi calculada conforme a figura 2:

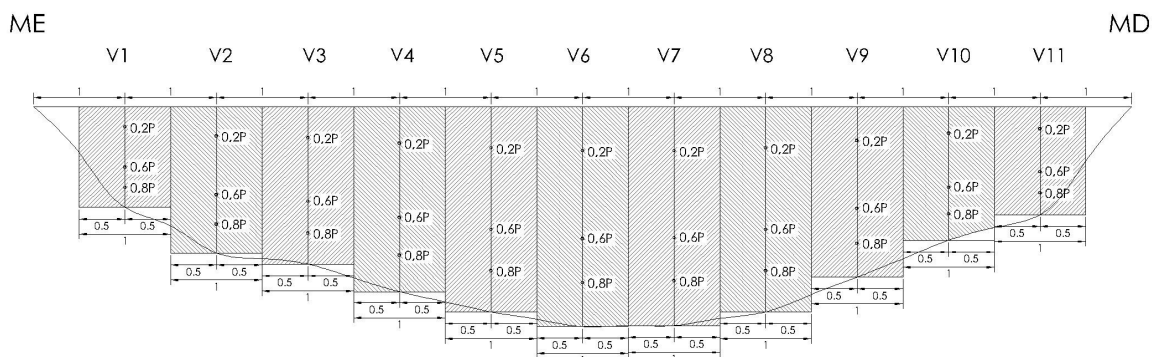


Figura 02: Imagem ilustrativa da seção estudada.

Coletas de Sedimentos

Foram feitas medidas mensais de vazão e posterior coleta de sedimentos. A metodologia utilizada para as medidas de vazão bem como a curva chave foram descritas detalhadamente por Menon et. al (2013). A metodologia utilizada para a amostragem de sedimentos foi a do Igual Incremento de Largura (IIL), descrita por Carvalho (2008), a qual está representada esquematicamente na figura 2. Para as amostragens foi utilizado um amostrador do tipo DH48 o qual vem de fabrica com três bicos de diâmetros 1/4", 3/16" e 1/8". Para o cálculo da velocidade de trânsito (subida e descida do amostrador) foi utilizada a equação 1 e seguidas as orientações do autor supramencionado no que se refere à escolha do bico, sendo a maior parte das vezes, eleito o bico 1/8" o mais apropriado por fornecer um maior intervalo de tempo de transito.

$$t = \frac{2 \cdot p}{k \cdot V_m} \quad (3)$$

Sendo:

t : Tempo de transito do amostrador

p : Profundidade na vertical amostrada

V_m : Velocidade média da seção amostrada; e

k : fator de proporcionalidade entre a velocidade de transito e a velocidade média da seção sendo: k=0,2 para bico de diâmetro 1/8" e 0,4 para os de diâmetro 3/16" e 1/4"

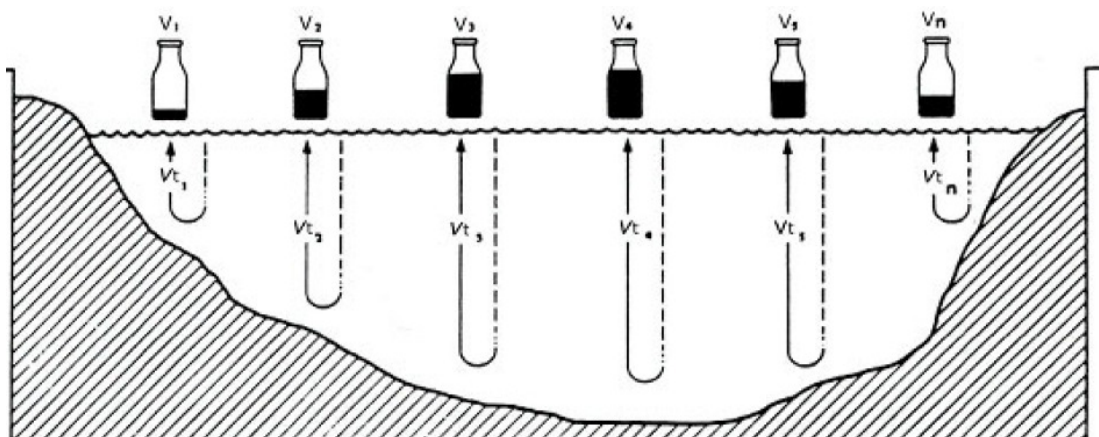


Figura 3 – Metodologia seguida para coleta de amostras compostas de sedimentos.

Análises Laboratoriais

As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos para o transporte até o laboratório da Universidade Federal do Mato Grosso – Campus Sinop, onde foram mantidas resfriadas a temperatura de 4°C até o momento da análise.

As amostras foram filtradas utilizando sistema de filtração Nalgene™ Reusable Filter Holders with Receiver da marca Thermo Scientific® e filtros de nitrato de celulose com porosidade 0,4µm. Após a filtração da amostra, os filtros foram levados à estufa, onde permaneceram durante 24 horas à temperatura de 110°C e pesados em balança de precisão com 3 casas. Para a obtenção do peso de sólidos foi subtraído o peso inicial do peso final do filtro.

Concentração e Carga Total de Sedimentos

A concentração foi calculada dividindo-se os valores de peso de sedimentos em suspensão na amostra pelo volume filtrado, gerando um resultado em miligramas de sedimentos por litro de amostra, ou em parte por milhão. Para o cálculo da carga total dos sedimentos em suspensão foi utilizada a equação 2, proposta por Carvalho(2008).

$$Q_{ss}=0,0864.\Sigma q.C_{mv}.L \quad (4)$$

Sendo:

Q_{ss} : Peso total de sedimentos transportados em ton./dia

0,0864 : constante para mudança de unidades de medida;

q : vazão da vertical amostrada;

C_{mv} : concentração média na vertical ; e

L : largura de influencia da vertical, neste caso adotado o valor de 1 metro.

Ao se analisar a equação tem-se a conclusão de que a carga da vertical depende vazão que passa pela mesma. O histórico das medidas de vazão na seção de controle mostra que a primeira vertical gera valores insignificantes de vazão, usualmente não chegando a 1% da vazão total do dia, motivo pelo qual ela não foi considerada na amostragem dos sedimentos.

A tabela 4 resume as informações das campanhas

Tabela 4 – Dados das Campanhas, com as datas, vazão líquida, concentração e vazão sólida total da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi.

Nº DA CAMPANHA	DATA	VAZÃO (m³/s)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	VAZÃO SÓLIDA TOTAL (ton/dia)
1	26/04/2014	36,60	21,97	69,51
2	24/05/2014	34,22	5,22	15,42
3	27/06/2014	29,60	4,40	11,28
4	24/07/2014	26,33	3,81	8,66
5	22/08/2014	22,30	6,93	13,35

Curva Chave Sedimentométrica

Após as campanhas de campo, com medições de vazões líquidas e a coleta e determinação das concentrações de sedimentos em suspensão, por vertical, encaminhou-se a elaboração da curva chave sedimentométrica. Com os resultados obtidos, tabulou-se e gerou-se o gráfico da correlação entre medidas de vazão líquida e sólida, com o ajuste mais representativo da curva chave sedimentométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curva Chave Líquida

O ajuste da curva chave foi satisfatório uma vez que alcançou um r^2 de 0,8541 conforme mostrado na figura 4. Em comparação ao estudo anterior da curva chave realizado por Menon *et al*(2013), este não foi tão preciso porém neste novo ajuste foram consideradas apenas medições no período seco. Outro fator que pode estar influenciando o ajuste da curva é a instabilidade da seção verificada durante algumas medidas.

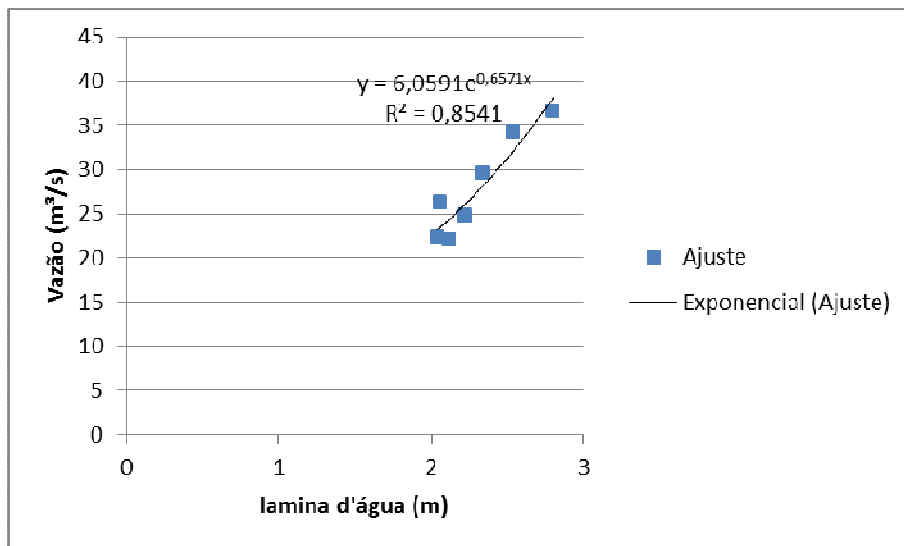


Figura 4 - Curva chave sedimentométrica da seção demonitoramento da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi

Curva Chave Para Sólidos

A figura 05 mostra os valores obtidos para vazão sólida e líquida bem como a correlação entre as duas.

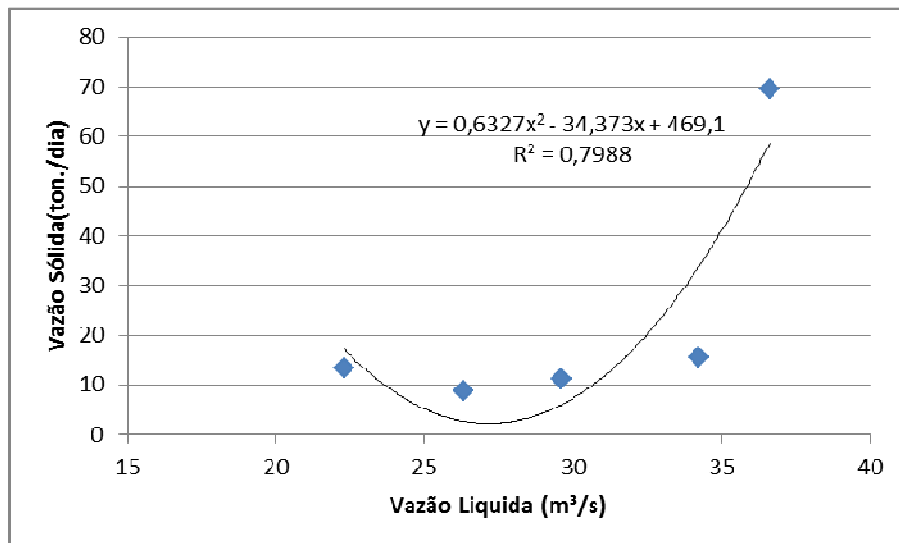


Figura 5 - Curva chave sedimentométrica da seção demonitoramento da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi.

O melhor ajuste encontrado para a relação vazão sólida x vazão líquida foi a exponencial conforme demonstrado no gráfico acima. De fato, diversos outros estudos mostram tal relação como apropriada para o ajuste. Cantalice et al.(2010) chegou também a essa conclusão para o Rio Capiberibe, no estado de Pernambuco, com a diferença de que a curva ajustada era sempre

crescente. A figura 06 mostra a variação de vazão líquida e a concentração de sedimentos nas campanhas. Nota-se que enquanto a vazão tem um comportamento explicitamente decrescente, a concentração média de sedimentos não segue o mesmo padrão, sofrendo um pico na primeira campanha, em razão da presença de areia fina como sedimento em suspensão. Também observa-se um aumento na última campanha. Esta última, foi realizada em período de preparo do solo para plantio de soja em grande parte da bacia. De fato, Minella *et al.* (2009), utilizando a técnica de *fingerprinting* para identificar fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural, concluíram que as lavouras tem importância significativa nesse processo, sendo responsáveis pela produção de 64% dos sedimentos quantificados numa bacia rural. Outro motivo que pode ter contribuído ao comportamento atípico da campanha foi o fato de ter chovido na semana que a antecedeu, porém tal precipitação aparentemente não afetou a vazão. Schneider (2009) constatou que a velocidade do fluxo do rio interfere na concentração dos sólidos em suspensão e a geração de partículas se dá pela erosão laminar, erosão das margens e pela re-suspensão das partículas depositadas no leito do rio, portanto, em momentos de maior vazão pode ocorrer um aumento na concentração de sólidos, porém por ter sido utilizado o método da filtração para a análise quantificação dos sólidos, e não ter se objetivado o estudo da qualidade dos sedimentos, não se pode afirmar se são de origem orgânica ou mineral. Andrietti(2014), estudando o mesmo rio, concluiu que atributos de qualidade da água não sofrem grandes variações no decorrer da estação seca ou chuvosa, a diferença se dá entre as duas estações, sendo uma amostragem em cada período o suficiente para caracterizá-lo quanto ao IQA. Por ter sido analisado apenas o período de seca, o presente estudo não consegue concluir o mesmo em relação aos sedimentos.

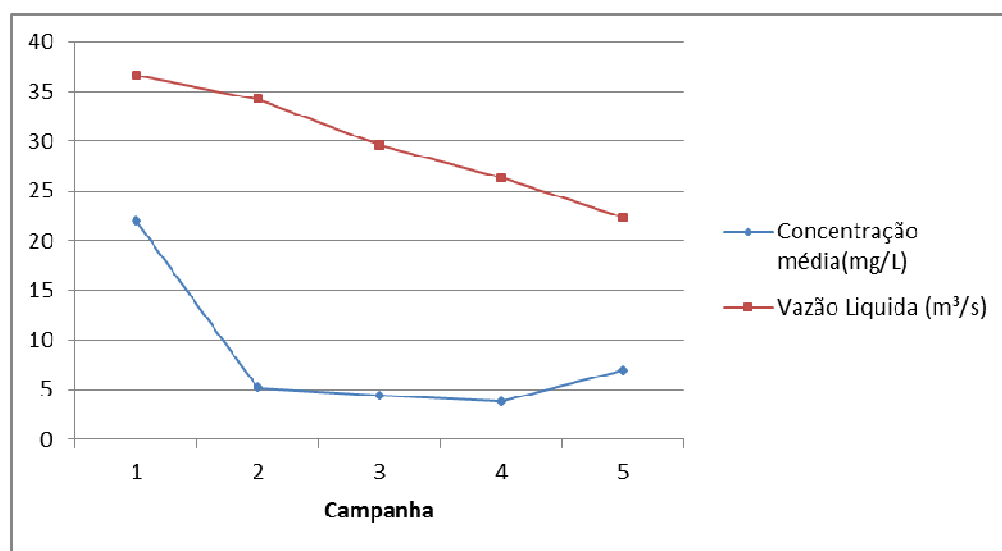


Figura 6 – Gráfico da evolução da vazão líquida e da concentração de sedimentos no tempo, na seção hidrométrica da microbacia hidrográfica do Rio Caiabi.

CONCLUSÃO

Com o presente estudo pode-se concluir que o Rio Caiabi encontra-se em estado de baixo eutrofização, uma vez que a vazão sólida é considerada baixa.

Para uma melhor caracterização dos sedimentos são necessárias coletas também durante o período chuvoso.

Estudos mais aprofundados de qualidade dos sedimentos e também dos solos da região são necessários para um melhor entendimento do processo erosão-sedimentação que ocorre na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pelo apoio concedido ao projeto de pesquisa aprovado no Edital Universal nº 014/2011, sob coordenação do Prof. Frederico Terra de Almeida, bem como à colaboração do proprietário da Fazenda Jaboticabal, na qual está contida a seção hidrométrica em estudo. Também agradecem aos servidores da UFMT- Campus Sinop, pelo auxílio nas campanhas e aos bolsistas do laboratório de tratamento de resíduos.

BIBLIOGRAFIA

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.(1999) **Conservação do solo**. 4.ed. São Paulo, Ícone, 355p.

Cantalice, J.R.B.; Souza, W.L.S. ; Araújo, A.M; Silva, Y.J.A.B.; Cavalcante, D.M.; Atanazio C. M.C.& Neto, L.A.A.; Mendes, M.H.S.(2010). *Taxas De Transporte De Sedimento Suspenso E De Fundo Do Rio Capibaribe*. In: Anais do IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos Brasília: ABRH, 2010. CD-ROM

CARVALHO, N.O.(2008). **Hidrossedimentologia Prática**. – 2ed. Rio de Janeiro: Interciencia,

CATALÃO, M. E. C.; PACHECO, F. A. L. (2010) Perdas de solo e risco de erosão na bacia hidrográfica da ribeira da Meia Léguas. In ANAIS do VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, 2010. CD-ROM.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento, julho 2013**. Brasília : Conab, 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de dados por Estado. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 10 out. 2014.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T.(2006). Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, (10) 315-322.

Menon, R.A; Almeida, F.T.; Souza, A.P.; Silva, J.S.; Martins, R.C.; Santana, W.P.; Marin, F.; Franceschet, I.; Silva, P.H.C; Zolin, C.A.; Arantes, K. R.;(2013).Instrumentalização e Obtenção da Curva Chave para a Microbacia do Rio Caiabi, afluente do Rio Teles Pires. In: XX Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves: ABRH, 2013. CD-ROM

Minella, J.P.G.; Merten, G.H.; Clarke, R.T. (2009). Método de fingerprinting para identificação de fontes de sedimentos em bacia hidrográfica rural. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:633-638.

SOUZA, A. P. *, MOTA, L. L. , ZAMADEI , T., MARTIM, C. C. , ALMEIDA, F. T., PAULINO , J.; (2013). Classificação Climática E Balanço Hídrico Climatológico No Estado De Mato Grosso. *Nativa*, (01-01), 34-43.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. da, S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. (2012). Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, (47-9), 1376-1383