

CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO VIDOCA EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SÃO PAULO, BRASIL

Iria Fernandes Vendrame^{1*} e Alessandra Machado da Cunha²

Resumo - Este trabalho investigou a produção e o transporte de sedimentos na bacia urbana do Rio Vidoca, em São José dos Campos, São Paulo–Brasil, a qual tem apresentado problemas de erosão de margens, perda de bueiros e pontes nas duas últimas décadas. Em uma seção do rio localizada logo após a sua junção com o Córrego Senhorinha, foram coletadas amostras de água com os amostradores USDH-48 e USDH-49. Foram também medidas as velocidades do escoamento com o molinete MLN-07, e com um micromolinete FP101-FP201 e/ou usando-se flutuadores (Lobo, 2002), e medidos os níveis da água com réguas linimétricas. A análise granulométrica das amostras sólidas do material de fundo e a análise da concentração de sólidos total foram realizadas em laboratórios do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). A curva-chave da vazão líquida foi ajustada aos dados observados e foi analisada a relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) com a vazão líquida ($Q_{líq}$), a equação ajustada apresentou $R^2= 0,67$, devido à ocorrência de obras em taludes do rio a montante da seção de estudo. A relação ajustada para a curva-chave da produção de sedimentos apresentou $R^2=0,94$.

Palavras-chave: vazões, curva-chave de sedimentos.

CHARACTERIZATION OF SEDIMENT TRANSPORT IN THE VIDOCA RIVER WATERSHED, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SAO PAULO-BRAZIL

Abstract - The production and transport of sediments in the urban Vidoca river watershed in São José dos Campos city, state of Sao Paulo – Brazil was investigated and characterized. The river has been presenting erosion on the sides, losses of culverts and bridges in the two last decades. To achieve this, samples of suspended sediments were collected using samplers USDH-48 and USDH-49, in a section just after its junction with the stream Senhorinha. The velocities of flow were measured using a current meter MLN-07, or a small current meter FP101-FP201 and/or a floater process(Lobo, 2002), also the water levels were measured with staff gages. The particle size analysis of solid samples of the background material and the analysis of total solids concentration were performed in Institute of Aeronautical Technology (ITA) laboratories. Discharge and level data were analysed to establish the rating curve. The relation to estimate the concentration of suspended solids, $C_{ss} \times Q_{líq}$, has shown to be reliable, especially for lower flow rates, presenting $R^2= 0,67$. The sediment yield curve showed $R^2= 0,94$.

Keywords: flow, sediment yield curve.

¹Professora Associada-ITA- Divisão de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, São José dos Campos-SP. E.mail : hiria@ita.br

²Aluna de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos-SP. E.mail : prof_nsg@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Uma etapa importante do gerenciamento ambiental de uma bacia hidrográfica consiste em entender os processos ligados de forma direta ou indireta ao comportamento hídrico como, por exemplo, entender o seu ciclo hidrossedimentológico. O estudo hidrossedimentológico de uma bacia é bastante importante para verificar se a produção e o transporte de sedimentos estão dentro da normalidade ou se estão apresentando variação no tempo e no espaço, sendo assim, representa uma maneira indireta de acompanhar condições de uso e ocupação do solo e também das alterações no clima. O acompanhamento hidrossedimentológico é importante para traçar diretrizes de solução dos problemas e minimizar os agentes impactantes que causam o desgaste do solo e podem ocasionar sua esterilidade, em decorrência de práticas inadequadas de uso e conservação. É fundamental detectar as alterações que possam estar ocorrendo no ciclo hidrossedimentológico, de forma a usar o conhecimento adquirido como base para a tomada de decisões de forma mais eficiente.

Segundo Carvalho (2008) o estudo e a aplicação da sedimentologia abrangem várias áreas sociais, como a geração de energia hidráulica, navegação, irrigação, mecânica dos solos, agricultura, construção de estradas, obras em geral, meio ambiente e outros, por isso é tão importante seu conhecimento para o planejamento e o desenvolvimento de um país. Para a continuidade no progresso e garantindo a vida, é necessário definir diretrizes de forma a controlar a extensão dos problemas, para que não tomem dimensões indesejáveis ou até mesmo irreversíveis. Uma política de desenvolvimento sustentável não desacelera o progresso, mas faz com que se tenha consciência de suas conseqüências, para que se faça o uso dos recursos naturais de forma mais justa possível, pensando no meio ambiente e no bem estar das futuras gerações.

De acordo com Yang (1996), a quantidade de sedimentos em suspensão pode ser estimada por equações de transporte sedimentar, pelo cálculo de sua taxa de transporte ou então por medidas em estações fluviosedimentométricas. Outra maneira seria por medidas indiretas, por meio de equipamentos, como os amostradores instantâneos, por integração ou bombeamento.

Segundo critérios internacionais, a produção de sedimentos pode ser considerada alta quando maior que 1,75 t/ha.ano, moderada se estiver entre 0,70 a 1,75 t/ha.ano, e, baixa quando menor que 0,35 t/ha.ano. Estes valores podem ser tomados como parâmetros para comparação em estudos (LIMA et al., 2000).

Nesse trabalho, foi analisado o transporte de sedimentos no rio Vidoca, que até o momento, não dispunha de dados relativos à sua hidrossedimentologia, para isso foi necessário medir vazões e concentrações de sedimentos que também não existiam para o referido rio. São apresentados resultados encontrados para a curva-chave de transporte de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio Vidoca, que é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Possui uma área de aproximadamente 60,08 km² com a maior parte situada na Região Sul do Município de São José dos Campos, no Estado de São Paulo. A bacia do Rio Vidoca é predominantemente urbana. sua ocupação ocorreu de forma bastante desordenada, com vários pontos de invasão e ocupação de áreas impróprias. Apresenta alto índice de degradação ambiental, o que acentua ainda mais a frequência de inundações, assoreamentos e erosões nas margens dos rios e córregos. Dois problemas bastante graves são: o lançamento clandestino de esgotos sem tratamento prévio e a erosão das margens. O estudo dessa bacia é importante por se tratar de um afluente do Rio Paraíba do Sul e ter sua foz antes de importantes pontos de captação da água para abastecimento público.

OBJETIVOS

Investigar as relações existentes entre: precipitações e vazões líquidas, vazões líquidas e níveis d'água, vazões líquidas e concentrações de sedimentos e vazões líquidas e vazões sólidas para uma seção do Rio Vidoca localizada antes de sua foz no rio Paraíba do Sul.

METODOLOGIA

Os sedimentos podem ser colocados em movimento ou ter seus movimentos alterados nas bacias hidrográficas devido a duas causas: pela ação dos elementos naturais ou pelas ações antrópicas. Nas causas naturais encontram-se a ação das chuvas, correntes líquidas, ventos, ondas, vagas e marés nos estuários e mares. As ações antrópicas podem ocorrer no leito do rio e na bacia hidrográfica, através de ações que se somam aos eventos naturais, como: atividade de mineração e agrícolas, atividades esportivas e turísticas, construção de barragens e outras estruturas hidráulicas, desmatamentos, operações de dragagens, rejeitos domésticos e industriais, e outras. As variáveis hidráulicas foram registradas durante doze campanhas de medições de campo. Elas contemplaram períodos chuvosos e secos ocorridos entre novembro de 2010 a abril de 2013. Seguindo as recomendações de Carvalho (2008), para as medidas das variáveis selecionadas e para as coletas das amostras, foram escolhidas três seções de monitoramento: P1 - Córrego Senhorinha; P2 - Rio Vidoca Colinas e P3 - Rio Vidoca EEE (Figura 1). As seções foram localizadas em trechos retos, com margens bem definidas e livres do efeito de curvas para evitar perturbações no escoamento.

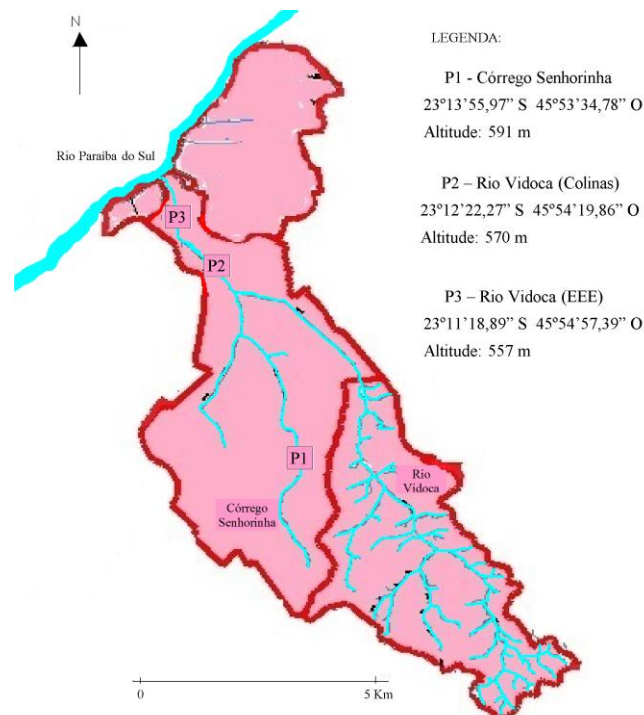


Figura 1 - Bacia do Rio Vidoca mostrando a localização das três seções de monitoramento (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - DVD Cidade Viva, 2011), adaptada pelas autoras.

Réguas linimétricas foram instaladas nas três seções de medição (P1, P2 e P3), para se obter o nível da água h . Conhecendo-se a altura do nível da água e tendo em mãos a curva-chave das vazões líquidas ($Q_{líq}$), é possível estimar as vazões líquidas para diferentes níveis da água. Conhecendo-se a vazão líquida e usando-se a curva-chave das vazões sólidas (Q_{ss}), onde são correlacionados ($Q_{ss} \times Q_{líq}$) pode-se estimar a quantidade de sedimentos efluentes da bacia.

Para medir as velocidades das águas do rio, utilizou-se o molinete MLN-7 acompanhado do contador digital de pulsos, e com um micromolinete FP101-FP201. Quando o nível e a velocidade não permitiam a medição da velocidade à vau, ou quando não era recomendado o uso do molinete

MLN-7 a partir de pontes, utilizava-se a técnica de medição por flutuadores(Lobo,2002). Nestes casos a coleta das amostras líquidas era feita a partir das pontes.

As coletas das amostras líquidas do rio foram realizadas com os amostradores DH-48 (profundidades até 1,5m e velocidades até 2,75 m/s) e DH-49 (profundidades até 6,0 m e velocidades superiores a 2,75 m/s). A escolha do equipamento mais indicado foi determinada de acordo com a velocidade e o nível da água no momento da coleta. As amostras de água foram enviadas para o laboratório do Departamento de Química do ITA para a análise das concentrações de sedimentos em suspensão. Para coletar o material do fundo foi usado o amostrador de sedimentos de fundo – modelo Tipo Petersen. O cálculo da vazão sólida foi realizado usando a Equação de Colby:

$$Q_{ss} = \sum C_{ss} \cdot Q_{Liq} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: Q_{ss} é a Vazão sólida em suspensão (kg/s), C_{ss} é a Concentração de sedimentos sólidos em suspensão (kg/m³) e Q_{Liq} é Vazão líquida (m³/s).

Os dados pluviográficos foram extraídos do site da FUNCATE(2012), que opera desde 1982 na região. Dentre as estações que monitoram a região de São José dos Campos foram usados os dados das estações meteorológicas do INPE e da UNIVAP.

A organização dos dados e a obtenção dos gráficos foram elaboradas com o auxílio dos softwares Excel® 2010 e AutoCad® 2012.

RESULTADOS

Caracterização da seção P2

Na seção P2 foi possível realizar um maior número de medições, devido a sua facilidade de acesso, por isso, seus resultados são analisados nesse trabalho. A referida seção localiza-se a 42 m da ponte existente no cruzamento da Avenida Jorge Zarur com a Avenida São João, próximo ao Shopping Colinas, em São José dos Campos. Conforme pode ser observado nas Figuras 2.a e 2.b, as margens são constituídas de gabiões em mau estado, seção retangular até a altura de 2 m, quando se inicia um talude com inclinação 1: 2,20m revestido com grama. A vegetação no verão é constituída de grama alta. O trecho à montante da seção P2 é retilíneo. A régua linimétrica é constituída de 3 lances com a altura máxima atingindo 2,70 m. Na Figura 2.a pode-se observar que o material do fundo é bastante arenoso, encontrando-se argila compactada e argila orgânica junto ao centro do rio, e também pedras provenientes de gabiões em mau estado. O trecho localizado imediatamente a jusante da seção de medições é arenoso formando pequenas dunas junto ao fundo. A Figura 2.b apresenta o entorno do Rio Vidoca na seção P2, na margem esquerda do rio, em que a região é bastante urbanizada, e as declividades das ruas em direção ao rio são bastante acentuadas.

Obtenção da relação cota-descarga

Os dados de alturas da água lidas na régua linimétrica e as áreas na seção molhada obtidas por batimetria em P2, durante os trabalhos de campo, são apresentados na tabela 1, onde os valores da primeira coluna encontram-se abaixo da altura h igual a 2,0m, em que se localiza a berma e ocorre a mudança de seção, isto é, a seção passa a ser composta. Os valores de profundidades apresentados na quarta coluna da tabela encontram-se acima da berma. As vazões foram obtidas aplicando-se a equação 2.



Figura 2.a Margens e fundo do Rio Vidoca no ponto P2.(10 de Setembro de 2011), e Fig 2.b Entorno do rio Vidoca, na seção P2, apresentando área urbanizada.(Cunha, Alessandra M., 2012).

Tabela 1- Nível da água e áreas da seção molhada para a seção P2, no rio Vidoca, São José dos Campos, São Paulo, durante as campanhas de campo, realizadas no período de Nov/2010-Mar/2013.

h(cm)	A (m ²)	h(cm)	A (m ²)
50	0,98	232	23,70
52	1,15	235	15,91
54	2,13	250	16,48
58	2,41	298	27,69
125	4,58	300	24,16
186	10,83	310	24,82

$$Q = \sum q_i \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: q_i são as vazões em cada área de influência A_i em que foi discretizada a seção molhada. A figura 2 apresenta a variação das vazões líquidas com os níveis observados na régua linimétrica. A equação 3 foi ajustada aos pares $h \times Q$ apresentando um coeficiente de determinação igual a 0,95.

$$Q = 15,80(h - 0,40)^{1,298} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: Q é a vazão líquida em m³/s e h é a altura da água em m.

Relação entre a vazão líquida e a concentração de sedimentos suspensos

A relação entre a concentração de sedimentos suspensos e a vazão líquida é apresentada na Figura 3. A Equação 4 foi ajustada aos dados da seção P2, fornecendo a reta ($C_{ss} \times Q_{Liq}$) para esses pontos. O ponto que apresentou maior concentração de sedimentos, 2236,5 mg/L, não foi considerado no ajuste da reta, por representar um *outlier*. A equação que melhor representou a relação entre a vazão líquida e concentração de sedimentos suspensos foi a relação linear, cujo coeficiente de determinação foi igual a 0,67.

$$C_{ss} = 0,144 Q_{liq} - 5,753 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: C_{ss} é a concentração de sedimentos em mg/L e Q_{liq} é a vazão líquida em m³/s.

Porém, a concentração de sedimentos tende a atingir um valor de saturação e isso indica que essa relação linear tem um limite superior. Na figura 3 observa-se que as concentrações mais elevadas ocorreram nos meses de janeiro e março 2013, porque março de 2013 apresentou total mensal de chuva acima da média observada nos últimos nove anos, conforme é mostrado na figura 4.

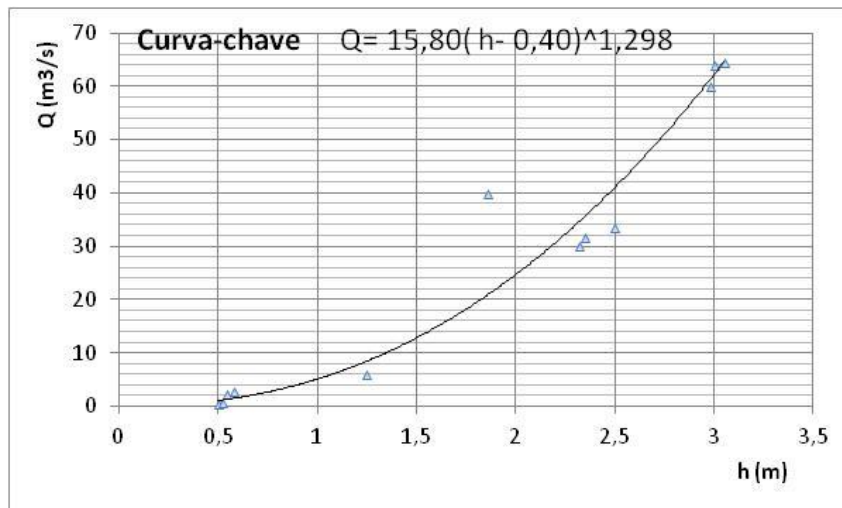


Figura 2- Valores observados de nível da água e de vazões líquidas, para a seção P2, no rio Vidoca, São José dos Campos, São Paulo, para o período de Nov/2010-Mar/2013.

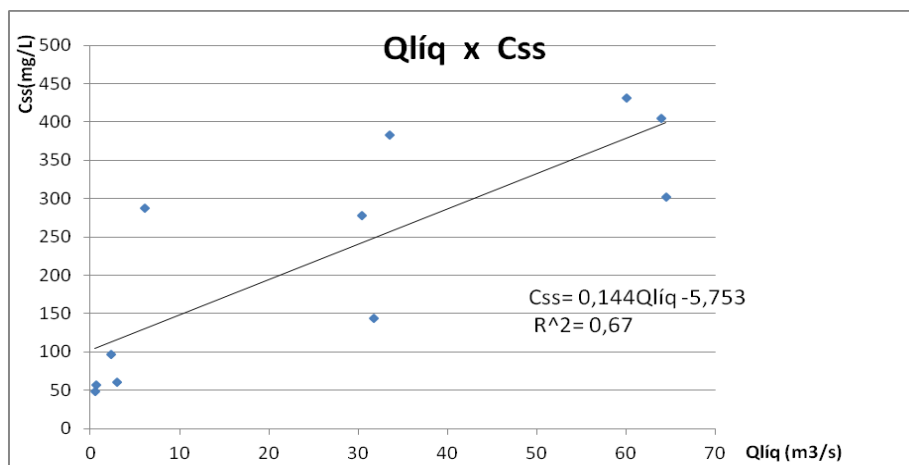


Figura 3- Relação entre vazão líquida e concentração de sedimentos em suspensão, para a seção P2, no rio Vidoca, São José dos Campos, São Paulo, para o período de Nov/2010-Mar/2013.

Relação entre a vazão líquida e a vazão de sedimentos em suspensão

A curva-chave de produção de sedimentos foi obtida relacionando os dados de vazão líquida ($Q_{líq}$) com os dados da produção de sedimentos em suspensão (Q_{ss}) e é apresentada na Figura 5. A curva-chave de produção de sedimentos para a seção P2 na bacia do Rio Vidoca apresentou melhor ajuste usando-se uma equação exponencial (Equação 5), o coeficiente de determinação encontrado foi igual a $R^2 = 0,94$.

$$Q_{ss} = 29,99 (Q_{líq})^{0,629} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: Q_{ss} é a vazão de sedimentos em suspensão em t/dia e $Q_{líq}$ é a vazão líquida em m^3/s .

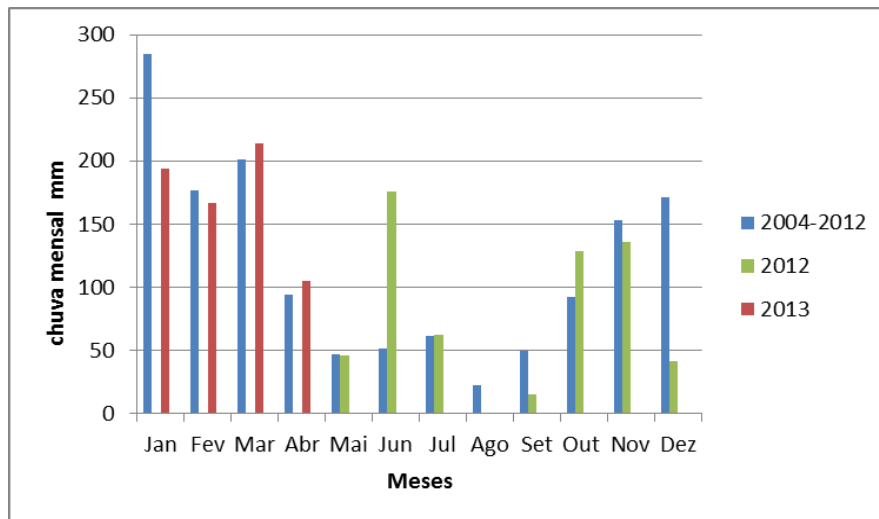


Figura 4- Médias dos totais mensais de precipitação para o período de 2004-2012, e totais mensais registrados para os meses de janeiro a abril de 2013 e maio a dezembro de 2012, para a estação meteorológica da do INPE, São José dos Campos-SP.

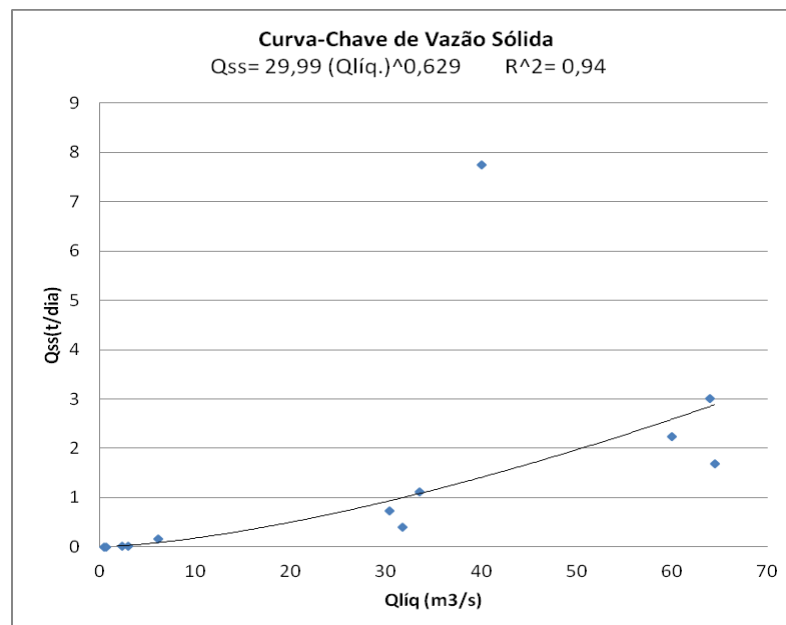


Figura 5- Curva-chave da produção de sedimentos, para a seção P2, no rio Vidoca, São José dos Campos, São Paulo, para o período Nov/2010-Mar/2013.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O solo arenoso encontrado na bacia é naturalmente mais vulnerável ao transporte de sedimentos.

As medições de velocidade contemplaram valores de níveis de água abaixo e acima da berma onde se tem a seção transversal composta, de forma que se podem obter, a partir da curva-chave para vazões líquidas, os valores de vazões correspondentes a valores de nível lidos na régua em trabalhos de campo futuros para aplicações hidrológicas. No entanto, é necessário ampliar o período de

observações para se obterem dados de vazão na faixa de 10 a 29 m³/s e na faixa de 41 a 50 m³/s para ampliar a confiabilidade da curva-chave representada pela equação 3.

Os córregos mostram vários pontos com erosão severa em suas margens, principalmente quando passam por áreas mais urbanizadas e desprovidas de vegetação. Ao longo de diversos trechos de suas margens os córregos e o rio não possuem mais a proteção da mata ciliar e muitas vezes estas estão ocupadas por edificações.

A maior concentração de sedimentos resultou de obras com movimentação de terra próximas à macrodrenagem, como é o caso da vazão sólida observada no dia 11/11/2011, cujo valor atingiu 7,74 t/dia. As outras três maiores vazões sólidas ocorreram no mês de março de 2013, que foi um mês com precipitação acima da média mensal dos últimos nove anos.

A curva-chave da produção de sedimentos apresentou um coeficiente de determinação R² e 0,94 para a seção P2 e poderá ser utilizada na estimativa de vazão sólida tendo-se o valor da vazão líquida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, projeto 2008/58161-1, e ao CNPq pelo auxílio à pesquisa destinado ao desenvolvimento da tese de mestrado, que serviu de base para a confecção desse trabalho.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Newton de Oliveira – **Hídrossedimentologia prática/ Newton de Oliveira Carvalho**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994 e 2008.

CUNHA, Alessandra Machado da. **Produção e Transporte de Sedimentos na Bacia do Rio Vidoca em São José dos Campos, São Paulo**. 2012. 105f. Tese de mestrado em Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicação e Tecnologia Espaciais. Banco de dados pluviométrico das estações meteorológicas do INPE e da UNIVAP. Disponível em: <<http://strademaweb.funcate.org.br/novo/stradema/>> Acesso em: 15 mar. 2012

LIMA, Walter de Paula; ZAKIA, Maria José Brito. - **Hidrologia de Matas Ciliares** - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2010. Piracicaba, São Paulo. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>> Acessado em: 18 set. 2010.

LOBO, Gré de Araújo. **Medição de vazão em cheias de bacias urbanas e rurais com molinetes hidrométricos e flutuadores superficiais**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PMSJC - Prefeitura de São José dos Campos. Banco de dados (DVD): Cidade Viva. São José dos Campos, 2011.

YANG, Chih Ted. **Sediment transport: Theory and practice**. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996. 396p.