



ESTIMATIVA DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERRUGA

Lorena Lima Ferraz¹, Filipe Albuquerque Lima¹, Ulyan Lopes Guedes¹, Frederico
Gomes de Carvalho Silva¹, Felizardo Adenilson Rocha²

¹ Graduandos em Engenharia Ambiental, Instituto Federal da Bahia Campus Vitória
da Conquista. Vitória da Conquista, BA, Brasil.

² Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto Federal da Bahia
Campus Vitória da Conquista. Vitória da Conquista, BA, Brasil.

¹lorenalferraz@gmail.com

Recebido em: 14/07/2018 – Aprovado em: 28/07/2018 – Publicado em: 31/07/2018
DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2018a23

RESUMO

O excesso de sedimentos presentes nos cursos d'água são fontes de sérios problemas envolvendo a qualidade e quantidade de água no rio, causando grandes distúrbios socioambientais. Dessa forma, o estudo e monitoramento hidrossedimentológico é de suma importância para definir medidas de mitigação dos impactos ambientais causados pela perda de solo. Portanto, objetivou-se a aplicação da metodologia indireta para determinação dos sedimentos suspensos através da coleta por integração vertical, o que possibilitou a análise sedimentológica, além da medição da vazão, para incrementação do banco de dados referente à bacia do rio Verruga. Assim, foi possível determinar a descarga sólida durante os meses de monitoramento, bem como estabelecer a curva chave para cálculo da vazão com base na cota da seção estudada. Por fim, foi determinada a concentração de sedimentos suspensos, além da calibração de equações para estimativa de valores futuros de descarga sólida diária.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia, Monitoramento, Sedimentos.

ESTIMATION OF DISCHARGE OF SEDIMENTS TRANSPORTED IN THE HYDROGRAPHIC BOWL OF RIO VERRUGA

ABSTRACT

The excess of sediments present in the water courses are sources of serious problems involving the quality and quantity of water in the river, causing great social and environmental disturbances. Thus, hydrosedimentological study and monitoring is important to define measures to mitigate environmental impacts caused by soil loss. Therefore, the objective was to apply the indirect methodology for the determination of suspended sediments through vertical integration, which allowed the

sedimentological analysis, besides the measurement of the flow, to increase the database for the Verruga river basin. Thus, it was possible to determine the solid discharge during the monitoring months, as well as to establish a key curve in order to calculate the flow based on the quota of the studied section. Finally, the concentration of suspended sediments was determined, besides the calibration of equations that allow us to estimate future values of daily solid discharge.

KEYWORDS: Hydrology, Monitoring, Sediments.

INTRODUÇÃO

A escassez de água pelos conflitos derivados do uso múltiplo especialmente em períodos de seca tem se mostrado um problema de nível global. A falta de planejamento durante a expansão urbana causa intensos impactos ambientais, atingindo principalmente os corpos hídricos, o que prejudica o abastecimento público e a irrigação das culturas encontradas ao longo de toda a bacia (TORRES et al., 2015).

Uma das consequências negativas do desenvolvimento desenfreado é o desmatamento. A retirada da mata ciliar e vegetação nativa favorece o escoamento superficial, carregando os sedimentos para o interior dos rios, sendo levados durante o seu curso (BERTONI; LOMBARDI, 2014). Segundo Macedo Neto et al. (2017), a quantidade e presença de partículas de solo suspensas representam a consequência da utilização da terra na bacia hidrográfica. Nas regiões onde a perda do solo ocorre com maior intensidade, é constatada a redução da produtividade agrícola (GALHARTE et al., 2014).

O escoamento superficial da água causado pela impermeabilidade do solo é motivador de sérios problemas ambientais em uma região hidrográfica, sendo destacado principalmente a erosão pela influência da água, a condução de fragmentos de terra e também, as cheias (LOEWEN; PINHEIRO, 2017). Pelo fato dos sedimentos carregarem grande parte dos poluentes presentes em um corpo hídrico, a necessidade de monitoramento para o desenvolvimento de estratégias de controle fez expandir os estudos e pesquisas sedimentológicas (MARTINS; POLETO, 2017).

Paiva (2001) afirma que é possível encontrar a concentração média de sedimentos em uma seção transversal com base apenas em uma amostra pontual coletada próxima à margem do curso d'água. Depiné et al. (2013) determinaram a quantidade e características físicas do sedimento em transporte após simulação de escoamento em estradas rurais. Durães et al. (2016), avaliando a sensibilidade à erosão causada pela água e a concentração de sólidos em suspensão, realizaram a modelagem do escoamento e a taxa de entrega sedimentométrica, permitindo identificar regiões mais propensas à perda de solo em uma bacia paranaense.

Das ações degradatórias com maior potencial de impacto ambiental em bacias hidrográficas destaca-se a perda de solo, e visto isso, a intensificação de pesquisas na área da sedimentologia é o primeiro passo para o desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos, permitindo aos responsáveis implementar políticas eficientes de uso da terra, de forma a mitigar os efeitos adversos da urbanização, industrialização e práticas agrícolas nos corpos d'água (DURÃES et al., 2016). Desse modo, destaca-se a importância da aquisição de dados hidrológicos e sedimentológicos que alimentem e fundamentem estudos que colaborem com a gestão hídrica.

A bacia do rio Verruga compreende a região entre os municípios de Vitória da Conquista, Barra do Choça e Itambé, conhecidos pela intensa produção de café. A

expansão na utilização do solo para fins agrícolas e crescimento populacional tem causado grandes impactos na qualidade hídrica da bacia. Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar experimentalmente a produção de escoamento e de sedimentos, apresentando os resultados do monitoramento realizado na seção de controle da bacia durante cinco meses de medições, obtendo as curvas de correlação entre as variáveis representativas e a concentração de sedimentos suspensos para cada mês de ensaio, calibrando equações para estimativa de valores futuros de descarregamento sólido.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na região da bacia do rio Verruga, que possui área entre os municípios de Vitória da Conquista, Itambé e Barra do Choça, localizados no sudoeste da Bahia (Figura 1). A bacia ocupa a área total de 901 Km² e o rio principal possui 57,5 km de comprimento, estando situada entre os paralelos 14° 49' e 15° 16' de latitude sul e os meridianos 40° 32' e 40° 55' de longitude oeste. A precipitação e temperatura média anuais variam de 600 a 1.100 mm e 21,5° a 24° C, respectivamente.

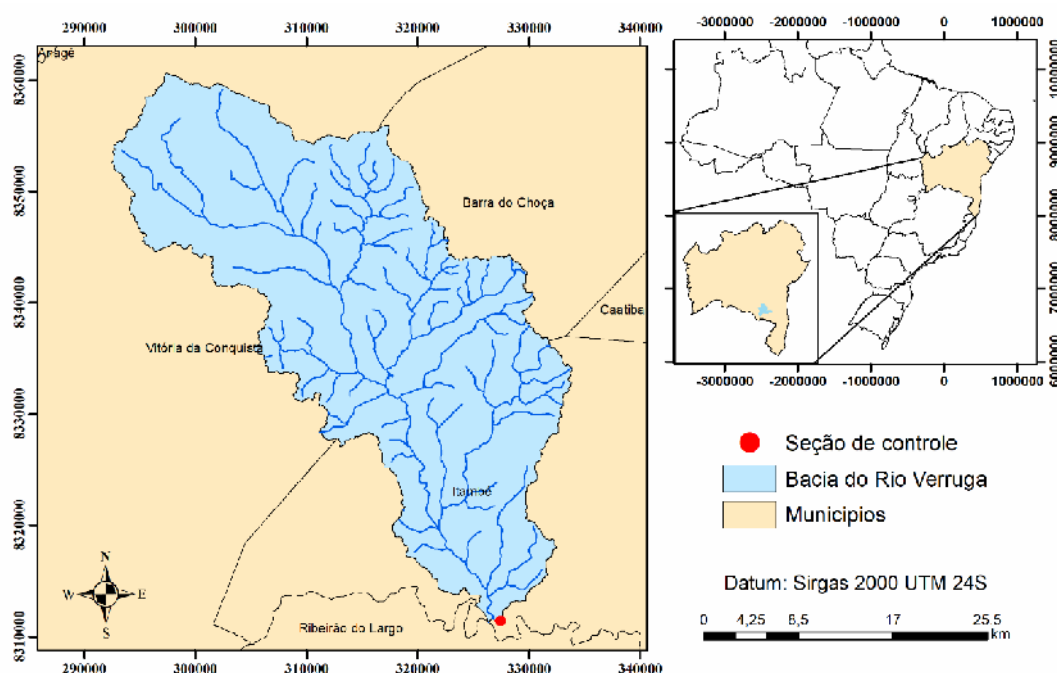


FIGURA 1 Localização da bacia do rio Verruga. Fonte: Autores (2018).

A região em estudo é caracterizada pela presença de grandes áreas de práticas agrícolas e manchas de urbanização, além de considerável quantidade de regiões de pastagem, como observado no mapa de uso e ocupação do solo representado na Figura 2.

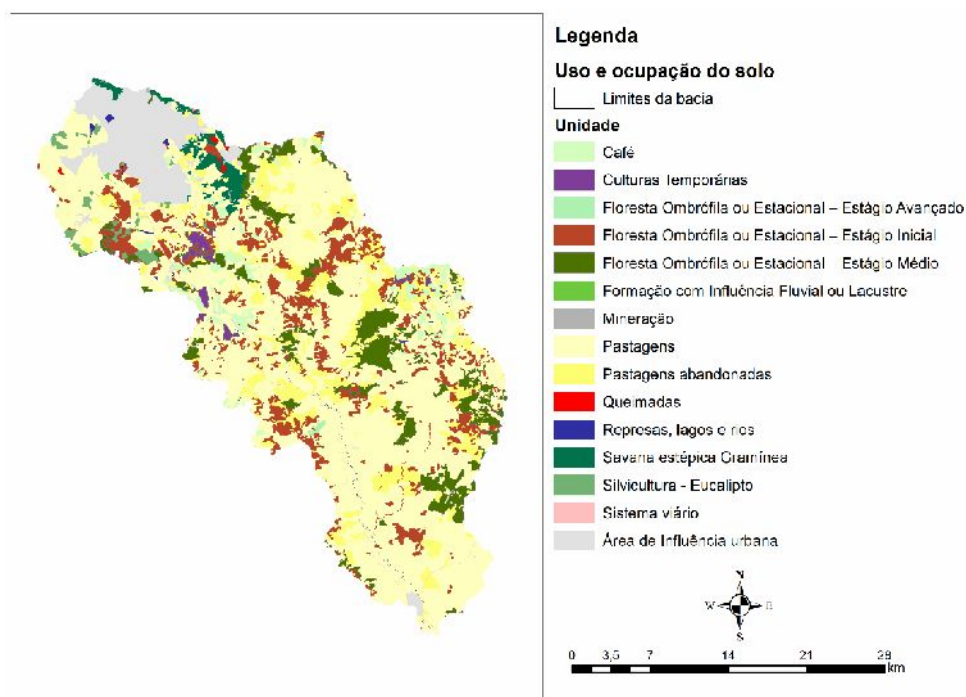


FIGURA 2 Mapa de uso da terra da bacia do rio Verruga. Fonte: Autores (2018).

O monitoramento foi realizado a partir de coletas mensais entre os meses de agosto a dezembro de 2017, na seção de controle da bacia em estudo, após a instalação do posto fluviométrico. A vazão foi calculada em um trecho retilíneo com seção uniforme e leito regular estável, próximo ao exutório da bacia, através do produto da velocidade do fluxo da água pela área da seção transversal. Para isso, realizou-se a batimetria na seção do trecho do rio em estudo, que consiste em subdividir a seção transversal do rio e obter, para cada subseção, a altura da lâmina d'água e a velocidade de escoamento, conforme recomendações de Barreto et al. (2013). Os dados de precipitação da região foram adquiridos na plataforma do INMET.

A determinação dos sedimentos suspensos se deu pelo método proposto por Carvalho (2008), que consiste na coleta por integração na vertical, a amostragem é feita em diferentes cotas de altura para permitir a obtenção de valores médios ao longo da seção, dado que a distribuição sedimentológica é variável tanto em largura quanto na profundidade do rio. O número de amostras (na vertical e horizontal da seção de amostragem) para análise de sedimentos seguiu as recomendações de Barreto et al., (2013), totalizando sete amostras em quintuplicata por mês de ensaio. O equipamento utilizado para coleta foi o amostrador do tipo USDH-48, em que interiormente contém uma garrafa de vidro de 450 mL (CARVALHO et al., 2000).

Após coleta, as amostras foram devidamente acondicionadas e direcionadas para análise no laboratório de solos localizado no Instituto Federal da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista. A concentração de sedimentos foi obtida através da aplicação do método de evaporação proposto por Baird (2017). As amostras foram conservadas ao abrigo da luz, com temperatura amena para evitar a proliferação de algas e floculação de partículas finas, o que causaria alteração na análise granulométrica. Como medida preventiva, foi utilizado um mL para cada litro de amostra da solução de Sulfato de Cobre (CARVALHO, 2008).

O valor de descarga sólida suspensa (Q_{ss}) foi determinado pelo somatório do produto entre a concentração de sólidos totais suspensos (C_{ss}) e a respectiva vazão

de cada subseção. Como exemplo, os dados referentes ao cálculo da descarga sólida referente à coleta realizada no mês de setembro encontram-se expostos na Tabela 1. Os valores de cada ponto correspondem à média aritmética das cinco repetições realizadas.

TABELA 1 Descarga sólida em suspensão referente coleta de setembro de 2017.

Ponto	Vert. (m)	Horiz. (m)	Subárea (m ²)	Vel. Média (m/s)	Vazão (m ³ /s)	Css (mg/L) (trecho)	Qss (T/dia) (trecho)
MARGEM	0,00						
SET1	0,68	1,00	0,340	0,092	0,031	134,0	0,360
SET2	0,77	1,00	0,725	0,183	0,133	380,0	4,356
SET3	0,81	1,00	0,790	0,336	0,265	348,0	7,969
SET4	0,61	1,00	0,710	0,458	0,325	451,2	12,663
SET5	0,57	1,00	0,590	0,275	0,162	220,0	3,078
SET6	0,55	1,00	0,560	0,214	0,120	182,0	1,880
SET7	0,00	1,00	0,275	0,015	0,004	198,0	0,072
Qss total							30,378
							(Ton/dia)

A análise da Css utilizando o turbidímetro exigiu o estabelecimento das curvas-chave por meio de um dos tipos de tendência mais utilizados durante calibração destes equipamentos: a regressão potencial. Para cada amostra foram efetuadas cinco leituras no turbidímetro, calculando a média das leituras de turbidez. As repetições foram tomadas no intervalo de tempo de um minuto. Na pesquisa, foi empregado um turbidímetro da Marca Policontrol, modelo AP2000. A faixa de medição varia entre 0 a 1000 NTU e precisão +/- 2% da leitura mais luz espúria de 0 a 1000 NTU. Os passos seguidos no presente trabalho estão descritos no fluxograma metodológico exposto na Figura 3, disposta abaixo.

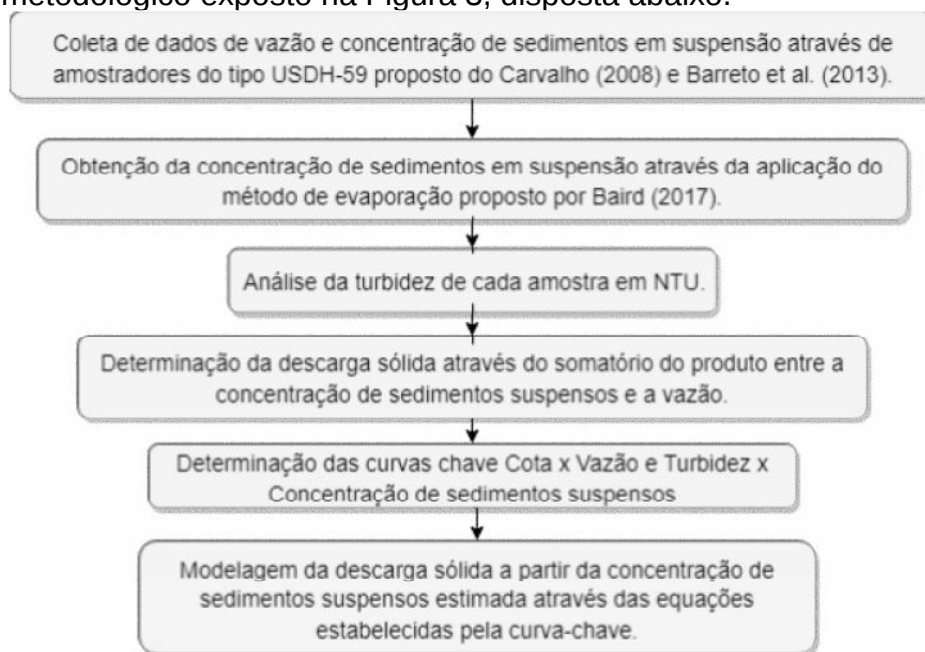


FIGURA 3 Fluxograma da metodologia adotada. Fonte: Autores (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o tempo de desenvolvimento do estudo, houveram variações entre períodos secos e chuvosos, ocorrendo alteração da largura da seção do rio e consequentemente no número de subseções. O valor adotado para a largura entre as subseções foi um metro, como proposto por Barreto et al. (2013).

A concentração de sólidos totais em suspensão (Css) varia com o período de coleta, pois ocorre variação na vazão. É destacado também o reflexo do desmatamento da bacia, pois em épocas de precipitação intensa em regiões sem cobertura vegetal, há o aumento do escoamento superficial, influenciando diretamente os valores de Css, resultado das águas escoadas que carregam as partículas de solo, aumentando a concentração nos rios. Além de favorecer a erosão das margens, a perda de solo pode causar o assoreamento dos corpos d'água. A Tabela 2 é referente aos valores de vazão, descarga sólida (Qss), sólidos totais em suspensão (Css), precipitação e turbidez das amostras coletadas entre o período de agosto e dezembro de 2017.

TABELA 2 Média dos valores de precipitação, turbidez e descarga sólida para cada vazão e período.

Período	Vazão (m³/s)	Qss (Ton/dia)	Css (mg/L)	Precipitação (mm)	Turbidez (NTU)
ago/17	1,526	51,506	359,5	16,5	9,89
set/17	1,039	30,378	273,3	2,1	4,87
out/17	1,034	39,822	370,2	113,8	5,81
nov/17	2,309	120,718	551,3	119,9	14,88
dez/17	0,799	25,079	451,1	36,6	11,35

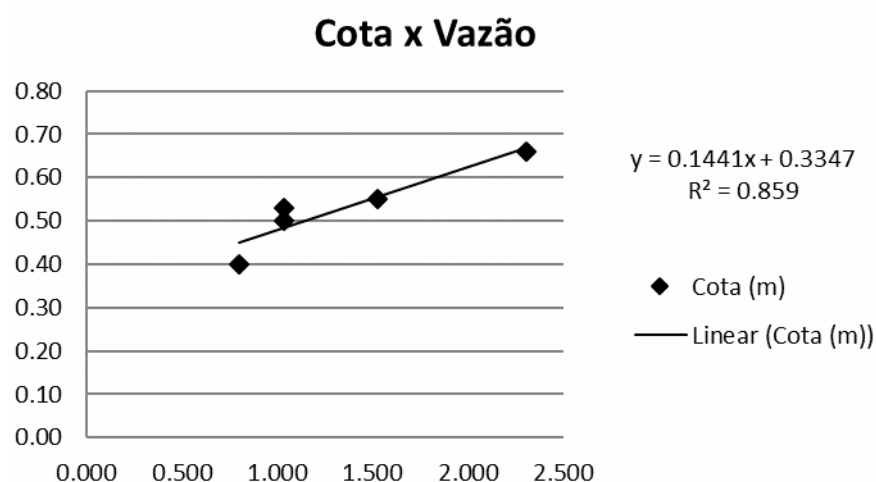
Durante o período de monitoramento, os valores de vazão e descarga sólida não apresentaram grandes picos. A coleta com maior alteração em relação as demais análises foi registrada no mês de novembro, com os valores de 2,309 m³/s e 120,718 Ton/dia para vazão e descarga sólida, respectivamente. Este fato está associado a época mais chuvosa em comparação com os demais meses de coleta, com precipitação média de 119,9 mm, o que corrobora com Carvalho et al. (2000) que afirmaram que 70 a 90% do material transportado ocorre no período das chuvas, aliado às condições de uso da terra da bacia (Figura 2), cuja maior área é ocupada por regiões de pastagem e sem cobertura vegetal, favorecendo a perda de solo.

CURVA CHAVE COTA X VAZÃO

Com base nos valores de vazão e das cotas obtidas em campo após a leitura da régua linimétrica, foi possível traçar a curva chave característica do trecho do rio Verruga, indicando uma relação linear entre o valor da cota e a vazão média equivalente, como observado na Figura 4, a partir de dados da Tabela 3, com $R^2 = 0,859$. Assim sendo, quanto maior o nível do rio observado após a leitura da régua, maior a vazão no respectivo ponto.

TABELA 3 Relação cota e vazão para a seção do rio Verruga.

Período	Vazão (m3/s)	Cota (m)
ago/17	1,526	0,55
set/17	1,039	0,50
out/17	1,034	0,53
nov/17	2,309	0,66
dez/17	0,799	0,40

**FIGURA 4** Curva chave para a relação entre a cota e vazão.
Fonte: Autores (2018).

RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO

A partir dos dados presentes na Tabela 4, foi construído o gráfico (Figura 5) de relação dos valores médios de turbidez e concentração de sólidos totais em suspensão para cada período de estudo. Assim, o R^2 obtido foi de 87,74 %, representando uma tendência de correlação entre as variáveis Turbidez e Css. Quanto mais turva a água se encontra, maior a quantidade de sedimentos em suspensão presente no rio.

TABELA 4 Valores médios e desvio padrão da turbidez e concentração de sólidos totais em suspensão para cada período de estudo.

Período	Turbidez Média (NTU)	CSS Média (mg/L)
ago/17	9,89 ± 3,15	359,5 ± 212, 88
set/17	4,87 ± 1,77	273,3 ± 118,93
out/17	5,81 ± 2,47	370,2 ± 209,79
nov/17	14,88 ± 1,21	551,3 ± 160,85
dez/17	11,35 ± 0,87	451,1 ± 24,56

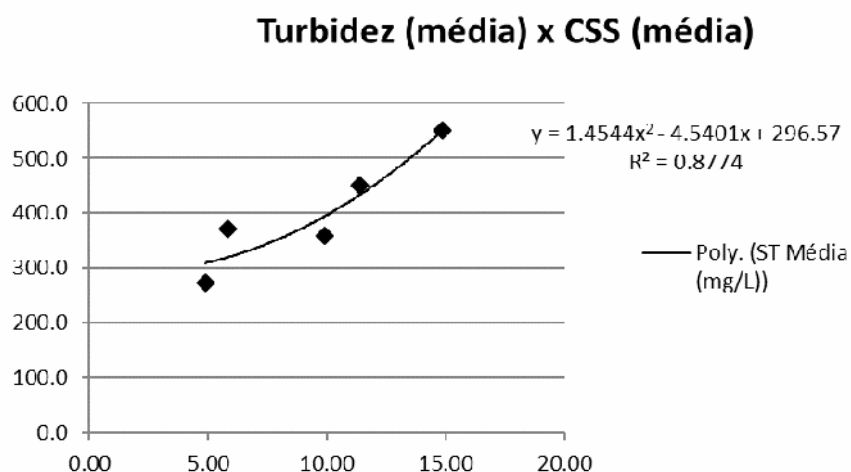


FIGURA 5 Correlação entre os valores de turbidez e concentração de sólidos totais em suspensão.
Fonte: Autores (2018).

Utilizando as equações obtidas através da curva, foi possível estimar valores de sólidos totais suspensos para cada valor de turbidez e assim, modelar a descarga sólida do dia. Com isso, os dados estimados para a descarga sólida foram gerados a partir da aplicação da metodologia exposta na Tabela 1. A Figura 6 apresenta a comparação entre os valores simulados e observados da descarga sólida, a partir de dados da Tabela 5.

TABELA 5 Relação entre os valores de descarga sólida obtidos experimentalmente e os valores estimados a partir da turbidez.

Período	Qss Experimental (Ton/dia)	Qss (Ton/dia) Estimado
ago/17	51,506	53,810
set/17	30,378	28,979
out/17	39,822	30,073
nov/17	120,718	110,287
dez/17	25,079	28,629

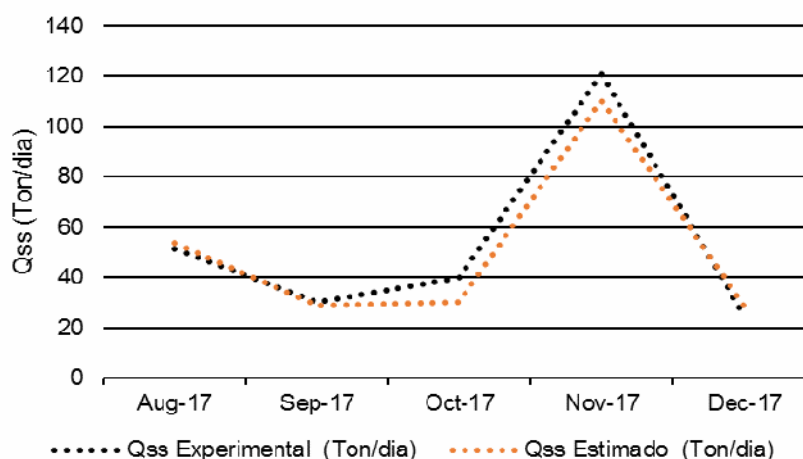


FIGURA 6 Valores de descarga sólida (Qss) observado e simulado. Fonte: Autores (2018).

CONCLUSÕES

O monitoramento possibilitou a análise da produção de escoamento e sedimentos, sendo os resultados obtidos no presente estudo de extrema relevância para a gestão e desenvolvimento da bacia hidrográfica do rio Verruga, através da criação e incrementação do banco de dados de monitoramento sedimentológico, até então inexistente. O conhecimento do comportamento hidrológico de uma bacia é de fundamental importância para a definição de estratégias para mitigação dos impactos ambientais causados pela expansão agrícola e urbana, e visto isso, é primordial a continuidade das pesquisas que avaliem a concentração de sedimentos nos corpos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas e ao IFBA pelo suporte durante a realização das coletas.

REFERÊNCIAS

- BAIRD, R. B. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed, Washington: American Public Health Association, 2017.
- BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. et al. Estado trófico em uma seção do rio Catolé Grande sob diferentes níveis de vazão. **Revista Ambiente & Água**, vol. 9, n.2, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1231>>. Doi: 10.4136/ambi-agua.1231
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 9.ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed, Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000, 132p.
- DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; AGUIDA, L. M.; CASTRO, N. M. R. Estimativa da produção de sedimentos em estradas rurais sob condições de chuva e escoamento simulados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.2, 2013. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p83-93>>. Doi: 10.21168/rbrh.v18n2.p83-93
- DURÃES, M.F; FILHO, J. A. P. C.; OLIVEIRA, V. A. Water Erosion vulnerability and sediment delivery rate in upper Iguaçu river basin - Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 21, n.4, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616029>>. Doi: 10.1590/2318-0331.011616029
- GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 188-193, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000200010>> Doi: 10.1590/S1415-43662014000200010

LOEWEN, A. R.; PINHEIRO, A. Overland flow generation mechanisms in the Concórdia river basin in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 22, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716026>>. Doi: 10.1590/2318-0331.011716026

MACEDO NETO, D.; FROEHNER, S.; SANEZ, J. Spatial variation of metals and phosphorus in sediments of a river influenced by urbanization. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 22, n.4, 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716054>>. Doi: 10.1590/2318-0331.011716054

MARTINS, P. D.; POLETO, C. Principle of maximum entropy in the estimation of suspended sediment concentration. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 22, n. 3, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716058>>. Doi: 10.1590/2318-0331.011716058

PAIVA, J. B. D. **Métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios: Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, 625 p.

TORRES, C. J. F.; BRAMBILLA, M.; FONTES, A. S.; MEDEIROS, Y. D. P. Conflitos pelo uso da água para a irrigação, geração de energia, hidroelétrica e manutenção do ecossistema aquático no baixo trecho do rio São Francisco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, vol. 4, n. 3, p. 195-210, 2015.