

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO CONTÍNUO EM ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO CUNHA, RIO DOS CEDROS/SC

Viviane Mezzomo¹, Julia Pelegrini² & Gean Paulo Michel³

RESUMO - A relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e a vazão (Q) varia durante um evento hidrológico, o que é conhecido como efeito de histerese. Este efeito natural, quando considerado na estimativa da produção de sedimentos para uma bacia, gera resultados significativamente diferentes de quando a estimativa é baseada em uma relação única entre Q e CSS. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise comparativa da estimativa da produção de sedimentos a partir de duas metodologias: (i) dispondo de uma série de dados contínuos de Q e CSS; e (ii) utilizando dados pontuais para estes parâmetros, assim como aqueles disponibilizados pela ANA. Assim, foram utilizados dados provenientes da Bacia do Rio Cunha, localizada no município de Rio dos Cedros, SC, para a realização do estudo. Verificou-se a produção de sedimentos para três eventos, os quais contemplaram os três padrões de laço de histerese propostos pela literatura: horário, anti-horário e em formato de oito. Os resultados mostraram que o uso de dados pontuais causou uma superestimação na produção de sedimentos no evento analisado. O presente estudo mostrou a importância de medições contínuas nas bacias de interesse, de forma a obter um resultado confiável. Desse modo, no caso de ausência de tais medições, deve-se realizar uma análise mais cautelosa, tendo ciência dos erros e limitações de tais resultados.

ABSTRACT - The relation between suspended-sediment concentration (CSS) and flow rate (Q) varies during a hydrological event, which is known as a hysteresis effect. This natural effect, when considered in the estimation of the sediment production for a basin, generates significantly different results when the estimation is based on a unique relation between Q and CSS. Thus, the objective of the present work was to perform a comparative analysis of sediment yield estimation using two methodologies: (i) having a series of continuous Q and CSS data; and (ii) using punctual data for these parameters, as well as those made available by ANA. Hence, data from the Rio Cunha Basin, located in Rio dos Cedros municipality, SC, were used for the study. Sediment production was verified for three events which contemplated the three hysteresis patterns proposed by the literature: time, counterclockwise and in eight format. The results showed that the use of punctual data caused an overestimation of sediment production in the analyzed event. The present study showed the importance of continuous measurements in the basins of interest, in order to obtain a reliable result. Therefore, in the absence of such measurements, a more cautious analysis should be performed, being aware of the errors and limitations of such results.

Palavras-Chave - sedimentos em suspensão; produção de sedimentos; histerese.

¹ Graduanda em Engenharia Hídrica – IPH/UFRGS; vivianemmezzomo@gmail.com

² Bacharel em Engenharia Hídrica – IPH/UFRGS; julia.pelegrini26@gmail.com

³ Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; gean.michel@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Dados hidrossedimentológicos são fundamentais para entendimento do comportamento de bacias hidrográficas. Sabendo da impossibilidade de medir e percorrer todas as partes e/ou etapas de uma bacia hidrográfica, geralmente recorre-se à modelagem para o estudo dos fenômenos que nesta ocorrem. Contudo, devido à grande complexidade dos processos atuantes, a ausência de dados de monitoramento introduz grandes incertezas nas avaliações. Desta forma, torna-se essencial a calibração de modelos com dados obtidos a partir do monitoramento no local estudado.

No entanto, dados fornecidos por órgãos responsáveis pela gestão de redes hidrometeorológicas muitas vezes apresentam apenas valores de medições pontuais ou em escala temporal diária, impossibilitando, em alguns casos, análises precisas sobre o comportamento das bacias. Tal prática dificulta a observação de eventos significativos que ocorrem em pequenas bacias como, por exemplo, um valor de vazão de pico ou a variação de valores de CSS. Neste sentido, o monitoramento contínuo, entendido como um processo ininterrupto de medição das características de determinado fenômeno, torna-se fundamental para a compreensão deste fenômeno (KOBAYAMA et al., 2006).

Ademais, o estudo da variabilidade da produção de sedimentos tem contribuído para a compreensão dos fatores controladores dos processos erosivos e do transporte de sedimentos e poluentes nas bacias hidrográficas. A identificação das fontes de sedimentos é uma técnica que possibilita localizar e quantificar as fontes de sedimentos dentro de uma bacia, contribuindo para descrição dos processos de ligação entre calha e vertente e para o planejamento dos recursos naturais (MINELLA, 2011).

A avaliação correta do transporte de sedimentos em suspensão é um dos fatores para a caracterização de bacias hidrográficas, quantificação de impactos do manejo do terreno e alterações antrópicas e para estimar a sedimentação de reservatórios, lagos e estuários (FILL E SANTOS, 2001). Minella (2011), afirma que a qualidade dos resultados será melhor quanto maior for a frequência de amostragem. Ou seja, um número maior de amostragem em um menor intervalo de tempo aumenta a probabilidade de coincidir o momento da coleta com os eventos de cheia, os quais são responsáveis pela maior parte da produção de sedimentos.

A partir da forma do hidrograma, da forma do sedimentograma e da relação existente entre a Q e a CSS, é possível inferir sobre o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia (KLEIN, 1984). Isso devido ao fato de a relação entre a CSS e Q variar com o tempo e não ser constante durante um evento, ocorrendo frequentemente o fenômeno da histerese (SEEGER et al., 2004). A

análise da histerese, conforme Jansson (2002) tem contribuído para localizar a fonte de sedimentos suspensos e compreender o mecanismo de transporte de sedimentos. A curva de histerese é influenciada pelo tamanho da bacia hidrográfica, quantidade de chuva, umidade do solo e das condições antecedentes do evento (SEEGER et al., 2004).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise comparativa da produção de sedimentos em duas situações: (i) dispondo de uma série de dados contínuos de Q e CSS; e (ii) dispondo de dados pontuais destes parâmetros. Para tanto, será analisada a histerese que ocorre entre a Q e a CSS, utilizando dados provenientes da Bacia do Rio Cunha, localizada no município de Rio dos Cedros, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Cunha está localizada no município de Rio dos Cedros, SC, e possui área de drenagem e amplitude altimétrica de, aproximadamente, 17,4 km² e 764 m, respectivamente. Segundo Guirro et al. (2018), a mesma é coberta em grande parte por mata nativa, além de áreas de pastagem e algumas porções com reflorestamento. A Figura 1 apresenta a localização e a altimetria da bacia hidrográfica.

Manifestando Cambissolos (Ca₃₂) como pedologia predominante (EMBRAPA, 2006), a bacia do Rio Cunha apresenta precipitação média de 1651 mm/ano (KOBİYAMA et al., 2010). No entanto, no ano de 2008, em que ocorreu um desencadeamento de escorregamentos na região, a precipitação acumulada em cerca de apenas 3 meses chegou a 1200 mm (MICHEL, 2011).

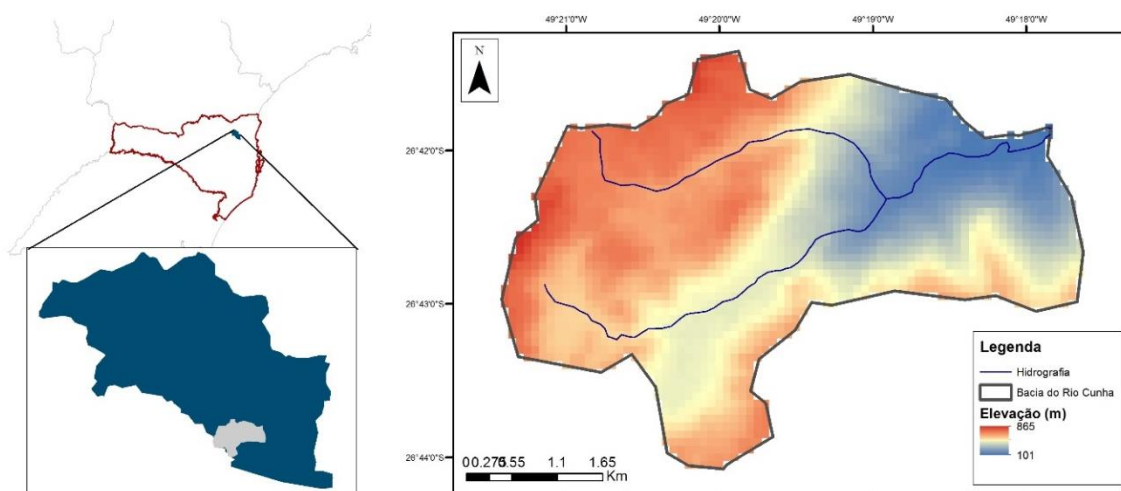


Figura 1: Localização e altimetria da bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros/SC.

Análise da histerese com os dados medidos

A partir de uma série de dados contínuos medidos a cada 10 minutos no Rio Cunha, foram separados três eventos de forma a representar o comportamento do rio: o evento 1 (09/02/2012); o evento 2 (31/12/2012); e o evento 3 (19/12/2013).

Desse modo, para cada um dos eventos, foi gerada uma curva de histerese relacionando a Q (m^3/s) com a CSS (mg/L). Em seguida, contrapondo os valores de concentração de sedimentos em suspensão com os valores de vazão, foram gerados gráficos de histerese.

Conforme Minella et al (2011), a histerese é o aparecimento de um atraso na evolução de um fenômeno físico em relação a outro. Desse modo, o comportamento hidrossedimentológico da bacia pode ser analisado a partir do sentido e do formato do laço de histerese que sofre influência direta das características apresentadas pelo hidrograma e pelo sedimentograma (WILLIAMS, 1989). O laço de histerese pode ter sentido horário, anti-horário ou formato oito, características essas que refletem as diferenças entre os tempos de pico e da declividade dos ramos ascendente e descendente do hidrograma e do sedimentograma.

O laço no sentido horário (Figura 2 A) é atribuído ao decaimento do sedimento em suspensão antes do pico da vazão líquida. Este decaimento de sedimento pode ocorrer pela rápida resposta de contribuição da fonte de sedimento no curso de água (LENZI E MARCHI, 2000). Acredita-se que a fonte principal de sedimentos é representada pelos sedimentos que já se encontram depositados na calha fluvial (KLEIN, 1984), ou que se encontram próximo ao curso de água e são, portanto, mobilizados, transportados e depositados rapidamente (SEEGER et al., 2004).

O laço no sentido anti-horário (Figura 2 B) pode ser causado pelo tempo de percurso relativamente alto do fluxo de sedimento, especialmente entre a fonte de cheia e a estação de medição (HEIDEL, 1956). Desta forma, é interpretado como a chegada de sedimentos de fontes mais distantes, como aqueles sedimentos que são mobilizados na vertente e transferidos pelo escoamento superficial para o canal fluvial (LENZI & LORENZO, 2000).

Já o laço com formato em oito (Figura 2 C) apresenta simultaneidade no aumento da concentração de sedimentos em suspensão com o aumento da vazão líquida, que ocorre devido aos dois gráficos temporais possuírem uma sincronia direta, tendo picos simultâneos e comparáveis extensões, confirmando o estudo de Williams (1989).

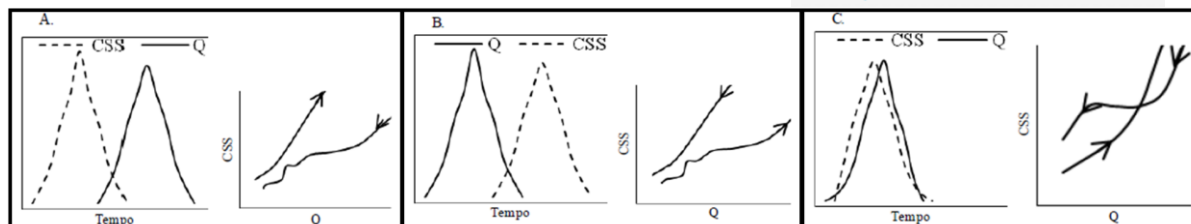


Figura 2: Ilustração dos principais padrões de laço de histerese: A) laço horário; B) laço anti-horário; C) laço com formato em oito (Fonte: Minella et al., 2011).

Análise da produção de sedimentos

A partir dos eventos escolhidos, proveniente da série de dados contínuos de Q e CSS, foram amostrados aleatoriamente 30 pares de dados para cada evento de forma a representar a situação na qual apenas dados pontuais estão disponíveis. Estes, por sua vez, possuem a finalidade de simular os dados de sedimentos fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), a qual coordena a Rede Hidrometeorológica Nacional.

A partir dos pares de dados pontuais, elaborou-se a curva-chave de sedimentos representativa dos eventos. Assim, utilizando a equação obtida e relacionando-a com as vazões obtidas na medição contínua do Rio Cunha, foi gerada uma série para a concentração de sedimentos em suspensão.

Utilizando a Equação (1) e Equação (2), calculou-se a produção de sedimentos para os eventos em questão através de duas abordagens distintas: (i) Utilizando os dados monitorados de CSS; e (ii) utilizando dados calculados de CSS a partir da curva-chave de sedimentos.

$$Q_{SS\ 10\ min} = 0,0006 * Q * CSS \quad (1)$$

Em que $Q_{SS\ 10\ min}$ = produção de sedimentos para cada 10 minutos medidos (ton/10 min); 0,0006 = fator de conversão para correção de grandezas; Q = descarga líquida (m^3/s); CSS = concentração de sedimentos em suspensão (mg/L).

A produção de sedimentos para os eventos foram, portanto, calculada através da soma da produção de sedimentos de cada 10 minutos, como apresenta a Equação (2).

$$Q_{SS\ evento} = \sum Q_{SS\ 10\ min} \quad (2)$$

Em que $Q_{SS\ evento}$ = produção de sedimentos de cada evento (ton/evento); $Q_{SS\ 10\ min}$ = produção de sedimentos para cada 10 minutos medidos (ton/10 min).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise qualitativa da histerese com os dados medidos

As curvas de histerese relacionando Q e CSS podem ser visualizadas na Figura 3. Ainda nesta figura, podem ser encontrados os gráficos temporais (hidrograma e sedimentograma) dos

parâmetros supracitados. Nesse estudo, devido aos eventos serem constituídos por dados correspondentes a períodos diferentes, foi observado a ocorrência dos três padrões de laço mencionados anteriormente: laço horário, laço anti-horário e laço com formato em oito.

Desse modo, inicialmente tanto a série de vazão quanto a série de concentração de sedimentos aumentam aproximadamente juntas, contudo, a concentração é a primeira a atingir o pico, produzindo uma curva horária e indicando que o sedimento em suspensão está chegando de áreas afastadas (Figura 3 A). Após a ocorrência do pico da concentração, a disponibilidade e o transporte de sedimentos são suficientemente elevados fazendo com que esta decresça lentamente com o tempo enquanto a vazão decresce mais rapidamente (WILLIAMS, 1989).

Em seguida, no entanto, a vazão atinge o pico antes da concentração de sedimentos, ou seja, a velocidade de percurso da onda de vazão é maior que a velocidade de deslocamento do fluxo sólido (Figura 3 B). De acordo com Williams (1989), isto pode indicar que a presença da fonte de sedimento é distante da região que produz a maior vazão.

Por fim, o decaimento da concentração de sedimentos antes da recessão do hidrograma sugere que a fonte de sedimento é limitada e que rapidamente decai (Figura 3 C). Segundo Seeger et al. (2004), esse tipo de curva ocorre quando os sedimentos são mobilizados, transportados e depositados rapidamente. Além disso, acredita-se que a fonte principal de sedimentos é representada pelos sedimentos que se encontram depositados na calha fluvial (KLEIN, 1984).

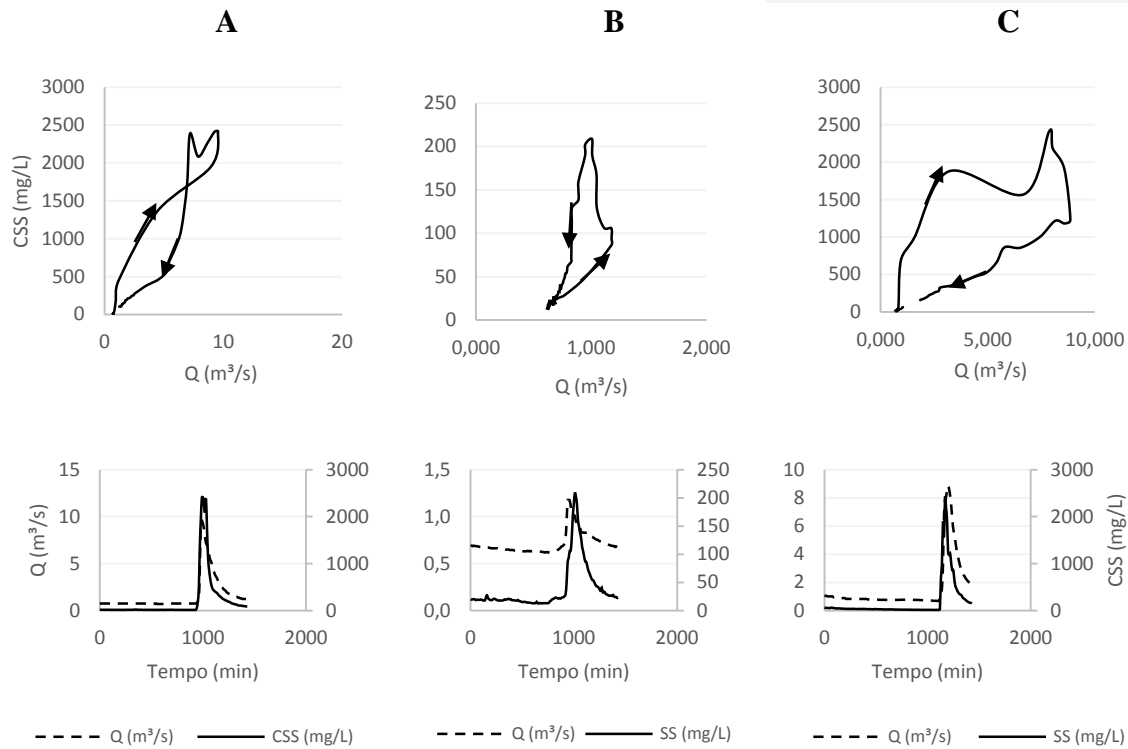


Figura 3: Identificação da curva de histerese (parte superior) e comportamento do hidrograma e do sedimentograma (na parte inferior) na bacia em três eventos diversos, a partir de série contínua de dados.

Análise dos eventos com série de dados pontuais

A partir da série de dados pontuais, foi gerada a curva-chave de sedimentos para o evento analisado, como é possível observar na Figura 4.

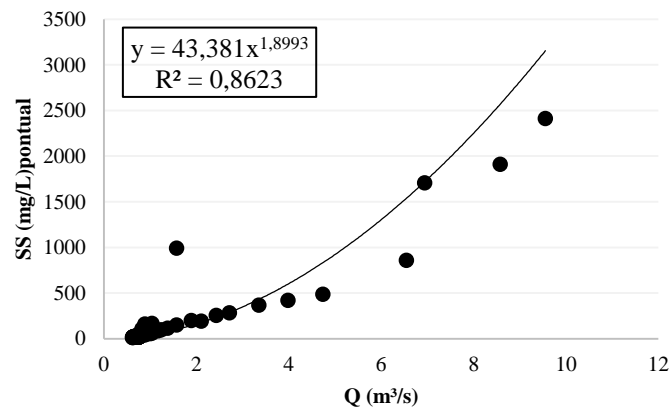


Figura 4: Curvas-chave de sedimentos dos dados pontuais para cada um dos eventos considerados.

A partir da curva-chave dos sedimentos foi calculada a produção de sedimentos para cada evento. Tais resultados podem ser conferidos na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1: Produção de sedimentos calculada a partir da série de dados medidos e dos dados pontuais para cada um dos eventos.

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS			
	EVENTO 1	EVENTO 2	EVENTO 3
QSS _{medido} TOTAL (ton/evento)	105,03	2,71	85,63
QSS _{pontual} TOTAL (ton/evento)	122,48	2,59	108,24

A partir destes resultados é possível perceber que a produção de sedimentos quando calculada a partir da curva-chave de sedimentos é superestimada. Isto se deve ao efeito de histerese onde a CSS tem um comportamento dinâmico distinto daquele demonstrado pela Q.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme Minella (2011), a compreensão e a quantificação da histerese podem ser uma importante ferramenta para a utilização em modelos matemáticos de produção de sedimentos, pois, muitas vezes, os modelos não são capazes de representar a defasagem no tempo entre o hidrograma e o sedimentograma, gerando uma superestimativa na produção de sedimentos. Ademais, a curva de histerese apresenta de forma objetiva os momentos em que se pode ter o mesmo valor de vazão gerando diferentes descargas sólidas, algo que muitas vezes não é considerado em outros métodos.

Dessa forma, a histerese é um fenômeno importante que deve ser contemplado nos estudos de modelagem como sendo um fenômeno que gera respostas sensivelmente diferentes na estimativa da produção de sedimentos, quando os modelos não são capazes de representar essa defasagem. Segundo Kobiyama (1999), o sucesso de um modelo, da modelagem e da simulação depende da qualidade do monitoramento e nenhum modelo gera informações relevantes sem o uso de dados monitorados do fenômeno estudado. Assim, deve-se prezar pela calibração de modelos, bem como pela utilização de dados obtidos corretamente e representativos da região em que se deseja analisar a produção de sedimentos.

A partir dos resultados obtidos nas análises realizadas, foi possível observar que a utilização da curva-chave de sedimentos para a determinação da produção de sedimentos a partir de dados pontuais, como os fornecidos pela ANA, superestima o valor real da produção de sedimentos. Desta forma, a fim de contornar tais problemas, sugere-se o monitoramento contínuo de variáveis que representam o comportamento dos sedimentos.

REFERÊNCIAS

- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- FILL, H.D., SANTOS, I. (2001). *Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Sechi*. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, SE.
- GUIRRO, M. O. et. al. (2018). *Análise comparativa da produção de sedimentos a partir de eventos extremos e não-extremos na bacia hidrográfica do Rio Cunha*. I Encontro Nacional de Desastres Naturais. Porto Alegre, RS.
- HEIDEL, S. G. (1956). *The progressive lag of sediment concentration with flood waves*. Trans., Am. Geophys. Union 37 (1), 56-66.
- JANSSON, M. B. (2002). “*Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica*”. Catena 47, pp. 63 – 84.
- KLEIN, M. *Anti-clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms*. Catena, v.11, p.251-257, 1984.
- KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. *Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas*. XXIX Semana de Estudos do Curso de Engenharia Florestal. UFPR, 1999.
- KOBIYAMA, M. et al. *Preservação de Desastres Naturais Conceitos Básicos*. Curitiba. Ed. Organic Trading. 2006.
- KOBIYAMA, M. et al. *Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects*. WIT Transactions on Engineering Sciences, v.67, p.77-88, 2010.
- LENZI, M. A.; LORENZO, M. *Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy)*. Catena, v.39, p.267-282, 2000.
- MICHEL, G. P. *Estudo de escorregamentos na Bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros/SC, com os modelos SHALSTAB e SINMAP*. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, 2011.
- MINELLA, J. P. G. et al. *Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.12, p.1306–1313, 2011.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. *Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão*. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.3, p.424-432, mar, 2011.
- SEEGER, M. et al. *Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees*. Journal of Hydrology, v. 288, n. 3-4, p. 299-311, 2004.

WILLIAMS, G.P., 1989. *Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers*. Journal of Hydrology, 111: 89-106.