

DIAGNÓSTICO DA VAZÃO E DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO OURO - RS

Rafaela Gamino Tronco^{1}; Gilberto Loguercio Collares²; Viviane Santos Silva Terra³; Guilherme Kruger Bartels⁴; Reginaldo Galski Bonczynski⁵; Henrique Leivas Teixeira⁶; George Marino Gonçalves⁷; Lukas dos Santos Boeira⁸*

Resumo – O crescente aumento das áreas de erosão, que apesar de ser um fenômeno natural é intensificada pelo manejo e uso inadequado do solo, aumenta também a concentração de sedimentos nos corpos hídricos. Deste modo, objetivo deste trabalho foi analisar a produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Arroio do Ouro. A bacia localiza-se entre as zonas rurais dos municípios de Pelotas e Morro Redondo, na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, e tem uma área de aproximadamente 221 ha. Para tanto, foi realizado o monitoramento da vazão entre de setembro de 2015 a outubro de 2016, além de 11 campanhas de medição da concentração de sedimentos entre agosto e novembro de 2016. Os resultados mostram que as vazões máximas escoadas durante os eventos foram de 0,15 a 1,86 m³ s⁻¹ e os valores máximos de concentração de sedimentos em suspensão medidos durante o período de análise variaram entre 41,67 e 210,35 mg l⁻¹. Os valores de descarga de carga sólida encontrados variaram entre 1,08 e 210,35 t.dia⁻¹.

Palavras-Chave – erosão; vazão; curva-chave.

DIAGNOSIS OF THE FLOW AND PRODUCTION OF SEDIMENT IN THE CATCHMENT OF ARROIO DO OURO - RS

Abstract – The increasing of erosion areas, which despite being a natural phenomenon is intensified by the inadequate management and use of the soil, also increases the production of sediments in the water bodies. Therefore, the objective of this work was to analyze the production of sediments in the Arroio do Ouro catchment. The catchment is situated between the rural area of Pelotas and Morro Redondo, in the southern region of the State of Rio Grande do Sul, with a drainage area of 221 ha. For this purpose, was realized the flow monitoring between September of 2015 and November of 2016, beyond 11 measurement campaigns of sediment concentration between August and November of 2016. The results show that the maximum flows were 0,15 a 1,86 m³.s⁻¹ and the maximum values of concentration of suspended sediment during the analysis period varied between 41,67 and 210,35 mg l⁻¹. The value of solid flow found varied between 1,08 and 210,35 t.dia⁻¹.

Keywords – erosion; flow; key-curve.

^{1*}Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas, e-mail: rafaelagtronco@gmail.com

²Professor Titular, CDTec- Engenharia Hídrica- UFPel, e-mail: gilbertocollares@gmail.com

³Professor Assistente, CDTec- Engenharia Hídrica- UFPel, e-mail: vssterra10@gmail.com

⁴Doutorando no Instituto de Pesquisas Hidráulicas- IPH- UFRGS, e-mail: guilhermehartels@gmail.com

⁵Técnico em Hidrologia – Engenharia Hídrica - UFPel - e-mail:rbonczynski@gmail.com

⁶Graduando em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas - e-mail: henriqueleiva@hotmail.com

⁷Graduando em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas - e-mail: george.marino.goncalves@gmail.com

⁸Graduando em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas - e-mail: lukasdossantosboeira@gmail.com

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico, sempre visando novos espaços para sua expansão, e a constante exploração dos recursos naturais, combinado ao crescimento demográfico, tem provocado uma intensa pressão no meio ambiente, ocasionando sua degradação (PASSOS et al., 2010). Dentre as formas de degradação a erosão merece destaque. Para Arnesen e Maia (2011), os processos erosivos são fenômenos naturais regidos pela dinâmica de denudação geológica dos ambientes e que são influenciados pelas características naturais do meio como a geologia, geomorfologia, cobertura e uso do solo, pedologia e clima. O manejo e uso inadequado do solo, especialmente em áreas declivosas, aceleram o escoamento, intensificando a erosão e, conseqüentemente, a produção e o transporte de sedimento para o curso d'água (BARTELS, 2015). Esse sedimento transportado, além de prejudicar a qualidade das águas, também pode servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais (PAIVA, 2003). As características dos sedimentos que são transportados até os cursos d'água, podem nos informar sobre o estado e/ou características da bacia hidrográfica, além de apresentarem grande relevância para a manutenção de ecossistemas, planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, tanto para análise de viabilidade de projetos de abastecimento ou irrigação, quanto para o dimensionamento de obras hidráulicas (SOUZA et al., 2006).

Assim, o conhecimento dos fatores relacionados ao processo de erosão e quantificação das perdas de solo se tornam importantes, pois servem de base para o planejamento da utilização dos recursos hídricos disponíveis e para a avaliação das conseqüências da intervenção antrópica na bacia hidrográfica. Desta forma, este estudo teve por objetivo quantificar a concentração de sólidos em suspensão e a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Arroio do Ouro, e verificar a correlação entre vazão e a produção de sedimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Arroio do Ouro (Figura 1), compreendida entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo, na porção Sul do estado do Rio Grande do Sul, com uma área de aproximadamente 221 ha. A bacia está inserida na região geomorfológica do Escudo Sul-Rio-Grandense e é considerada uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Arroio Cadeia (BARTELS, 2015).

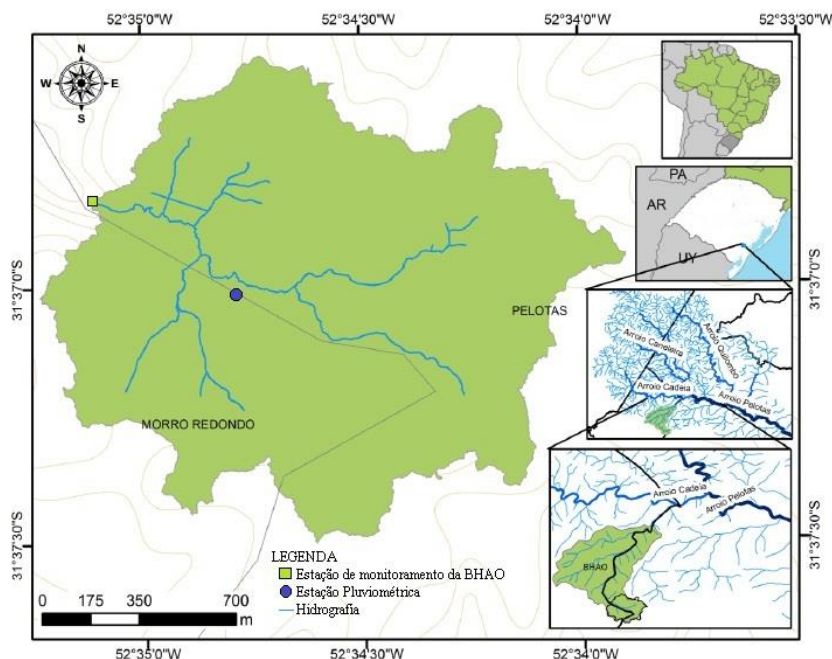


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo - RS.

Os solos da bacia foram classificados, segundo Cunha et al. (1996), em Podzólicos Bruno acinzentados, Podzólicos Vermelho Amarelo, Regossolos e Litossolos. As classes de solo, reorganizadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos de 2006, apresentam para a bacia solos das classes de Neossolos e Argissolos. A principal ocupação da bacia é a agricultura, organizada em pequenas propriedades familiares, onde observa-se o cultivo de pêsego, milho e tabaco, além de atividades de pecuária leiteira e avicultura (SEMA, 2017). Conforme Chaves (2017), a bacia possui as seguintes classes de uso e cobertura do solo:

Tabela 1. Distribuição da área de ocupação e da porcentagem de cada uso do solo da Bacia Hidrográfica do Arroio do Ouro.

Tipo	Área (ha)	Área (%)
Água	1.344	0.61
Banhado	13.790	6.22
Campo Nativo	99.694	45.00
Construção	0.428	0.19
Estrada	0.957	0.43
Cultura Anual	48.057	21.69
Fruticultura	2.548	1.15
Mata Cultivada	1.723	0.78
Mata Nativa	51.868	23.41
Rocha	0.819	0.37
Solo Exposto	0.305	0.14
Total	221.533	100

A seção de monitoramento foi escolhido em um local de fácil acesso para realizar o monitoramento durante os eventos de precipitação, em um trecho retilíneo do curso d'água. Nesta seção foi

construída uma estrutura permanente (Figura 2) que auxilia nas medições de vazão e descarga sólida em suspensão. De forma a suprir as necessidades de informações de forma contínua, a seção de monitoramento é composta por uma régua limnimétrica, uma estação hidrossedimentológica, composta por um sensor de pressão (nível) e um sensor de turbidez. A precipitação foi monitorada através da utilização de um pluviômetro de balança acoplado a uma estação meteorológica (Figura 1).



Figura 2 – Seção de monitoramento construída na área de estudo da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

O monitoramento da descarga líquida teve por objetivo determinar as vazões e construir a curva-chave para a seção de monitoramento. Foram realizadas medições de vazão com o equipamento FlowTracker- ADV, da empresa Sontek, que mede as velocidades pelo método acústico, e, a partir das medidas de distâncias e profundidades das verticais o equipamento calcula as vazões. No início e o final da medição foram anotados as cotas medidas na régua limnimétrica para realizar a construção da curva-chave. O monitoramento foi realizado no período de setembro de 2015 a julho de 2016, perfazendo um total de 42 medições. Conforme pode ser observado na figura 2, a seção de monitoramento foi dividida em três níveis, tendo do primeiro para o segundo degrau 19 cm de profundidade, enquanto do segundo para o terceiro, 5 cm. A curva-chave foi dividida em dois segmentos, representando vazões com cotas superiores e inferiores a 19 cm, conforme Figura 3.

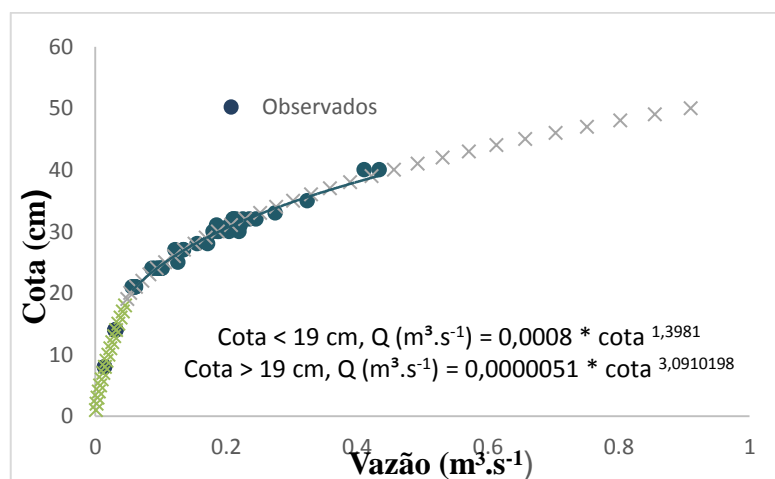


Figura 3 – Curva-chave de vazão da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

O monitoramento do sedimento em suspensão foi realizado de forma convencional, utilizando o método do igual incremento de largura, onde a seção transversal foi dividida em uma série de verticais igualmente espaçadas. As amostras foram coletadas com o auxílio de um amostrador USDH 81, em diferentes posições do hidrograma, sempre que possível coletando o maior número possível de medições no período de ascensão e recessão do hidrograma.

O monitoramento automático foi realizado com o intuito de obter informações contínuas de concentração de sedimento em suspensão (C_{ss}) principalmente quando não foram realizadas medições *in loco*. Para isso foi utilizando um turbidímetro calibrado, de modo a transformar a leitura do sensor de mV (milivolts) para NTU (unidade de turbidez). A calibração foi repetida com uma periodicidade de no mínimo, 15 dias, utilizando a formazina nas concentrações de 0, 10, 40, 100, 400 e 1000 NTU. Deste modo, foram definidas duas equações, para um melhor ajuste do sinal em mV, sendo uma para valores maiores (Equação 1) e outra para valores menores (Equação 2) que 100 mV. cota^{1,3981}.

$$NTU = (-0,0126 * (mV)^2) + (3,188 * mV) - 65,252 \quad (1)$$

$$NTU = (0,0014 * (mV)^2) + (1,1078 * mV) + 13,731 \quad (2)$$

Em que,

NTU = unidade nefelométrica de turbidez;

mV = milivolts.

A determinação da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) foi realizada através do procedimento analítico gravimétrico por filtração de acordo com as normas da CPRM. Desta forma, comparando os dados do sensor de turbidez com os dados amostrados, foi possível elaborar uma equação para a estimativa da C_{ss} (Equação 3).

$$C_{ss} = (0,0066 * (NTU)^2) + (0,0266 * NTU) - 1,0546 \quad (3)$$

Em que,

C_{ss} = concentração de sedimentos em suspensão ($mg \cdot l^{-1}$).

Com dados da concentração de sedimentos e vazão foi possível a determinação do transporte ou descarga de carga sólida, conforme metodologia simplificada de Colby (1957) (Equação 4), que se baseia no produto entre a descarga líquida (m^3/s), a concentração total no canal de sedimentos (mg/l), e o tempo (s).

$$Q_{ss} = 0,0864 * C_{ss} * Q \quad (4)$$

Em que,

Q_{ss} = vazão sólida suspensão ($t \cdot dia^{-1}$);

C_{ss} = concentração de sedimentos em suspensão ($mg \cdot l^{-1}$);

Q = vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os resultados encontrados da concentração de sólidos e de vazão, medidos em 11 eventos de precipitação, entre agosto e novembro de 2016, para a determinação da produção de sedimentos.

Tabela 2. Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos monitoradas na bacia do Arroio do Ouro

Evento	Data	Precipitação Total (mm)	Duração Total (h)	Q_{\max} ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$C_{SS\max}$ ($mg \cdot l^{-1}$)	Q_{ss} ($t \cdot dia^{-1}$)
1	31/ago	38,80	18,75	1,79	587,89	90,92
2	02/set	36,00	30,25	0,47	61,02	2,48
3	04/set	14,80	13,25	0,56	41,67	2,01
4	05/set	13,60	12,25	0,51	67,68	2,98
5	06/set	29,40	12,25	1,78	335,01	51,52
6	13/set	30,40	6,5	1	459,43	39,69
7	16/out	32,60	5,5	1,86	1308,94	210,35
8	17/out	16,80	9,25	0,28	79,75	1,93
9	19/out	30,20	10,25	0,59	162,19	8,26
10	24/out	26,20	44,5	0,15	83,48	1,08
11	26/out	16,20	20,5	0,21	85,02	1,54

Pode-se observar na Tabela 2, que o comportamento da concentração de sólidos não ocorre de maneira linear, seguindo a tendência dos regimes de vazão. As vazões máximas escoadas durante os eventos foram de 0,15 a 1,86 $m^3 \cdot s^{-1}$. Os valores máximos de concentração de sedimentos em suspensão medidos durante o período de análise variaram entre 41,67 e 1308,94 $mg \cdot l^{-1}$, com um valor médio de 297,46 $mg \cdot l^{-1}$. As concentrações de sedimentos podem ser classificadas, segundo Lima et al. (2015), entre baixa e muito alto, sendo a concentração média considerada muito alta. Conforme os autores a concentração de sedimentos em suspensão inferior a 50 $mg \cdot l^{-1}$ é considerada muito baixa, de 50 a 100 $mg \cdot l^{-1}$, baixa, de 100 a 150, moderada, de 150 a 300, alta, e acima de 300 $mg \cdot l^{-1}$, muito alta. Os valores de descarga de carga sólida encontrados variaram entre 1,08 e 210,35 $t \cdot dia^{-1}$.

Para um maior entendimento do comportamento da concentração de sedimentos, considerou-se a possível correlação entre a vazão líquida e sólida para os 11 eventos (Tabela 2), obtendo-se a equação da curva-chave de sedimentos (Q_{ss}) para a seção de estudos (Figura 4), com um coeficiente de determinação superior a 90%.

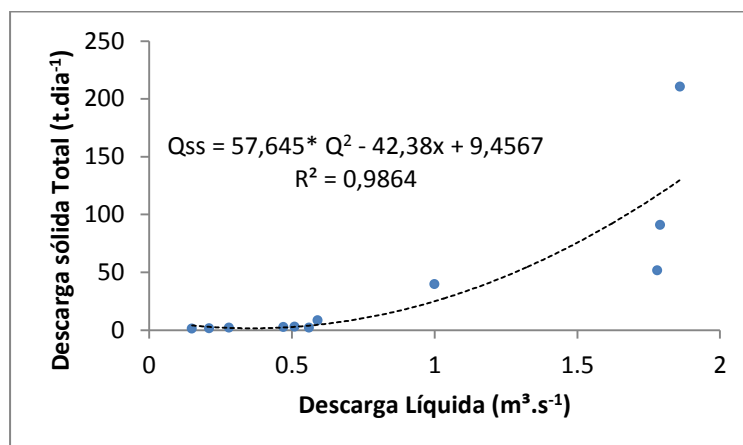


Figura 4 – Curva-chave de sedimento (Q_{ss} x Q) da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

Analisando a Figura 4, percebe-se que existe uma correlação entre a vazão e a descarga sólida, ou seja, assim como verificado em vários estudos na área de hidrossedimentologia, tais como: Nüñez (1991) em estudo da bacia hidrográfica do Arroio Grande, Santa Maria, RS; Silveira (1982) no arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS; e Bento et al. (2006), para o Rio Catolé Grande, na Bahia.

Porém, apesar do elevado valor encontrado para o coeficiente de determinação, 0,9864, a utilização da curva-chave de sedimentos deve ocorrer de maneira cautelosa, pois, segundo Carvalho *et al* (2000), diversos fatores, como variações sazonais e eventos extremos, podem interferir no traçado da curva. Assim, a curva deve ser utilizada apenas para estimar dados quando não forem possíveis a realização de medições ou quando existirem falhas nos períodos medidos por sensores automáticos. Além disso, na aplicação da equação, também se deve levar em consideração que os valores encontrados devem estar dentro dos extremos amostrados, além de possuírem condições semelhantes às vistas durante a condução do estudo.

CONCLUSÕES

A bacia do Arroio do Ouro apresentou, para o período estudado, uma concentração de sedimento em suspensão de média à muito alta, e a curva-chave gerada apresentou elevado valor para o coeficiente de determinação. Ressalta-se que é uma análise inicial, sendo necessário um maior período de monitoramento para que seja possível a captura de um número maior de eventos significativos para expressar e analisar de maneira representativa as variáveis hidrossedimentológicas medidas no local.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos da UFPEL, ao Laboratório de Hidrossedimentologia, ao NEPE HidroSedi, a CAPES pela bolsa de estudo concedida e a Mestre em Recurso Hídricos Daniel Chaves pela cessão das imagens utilizadas no trabalho.

REFERÊNCIAS

ARNESEN, A. S., MAIA, J. S. (2011) Análise da vulnerabilidade natural à erosão na bacia hidrográfica do rio Tijucas através de técnicas de geoprocessamento: um subsídio à governança

territorial. In: *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, Maio 2011, pp. 1113 - 1120.

BARTELS, G. K. (2015). *Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 87 p.

BENTO, N. L.; AMORIM, J. S.; SILVÃO, N. A.; BARROS, F. M. SILVA, D. P. (2006) Quantificação da produção de sedimentos no Rio Catolé Grande- BA. In: *Anais do XIII Simpósio de Recursos Hídricos Do Nordeste*, Aracaju, novembro 2006.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA, N.P., SANTOS, P.M.C., LIMA, J.E.F.W. (2000). *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 154p.

COLBY, B.R (1957). Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. *Transactions, Amer. Geophy Union*. v . 38, n. 5, oct, pp.708-719.

CHAVES, R. D. (2017). *Estimativa da produção de sedimentos e da perda de solo com o uso de um MDE obtido por um Veículo Aéreo Não Tripulado*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 90 p.

CUNHA, N.G.; SILVEIRA, R.J.C.; SEVERO, C.R.S. (1996). *Estudo dos solos do município de Morro Redondo*. EMBRAPA-CPATC, Ed. UFPel, Pelotas - RS, 28 p.

LIMA, L. S.; BARTELS, G. K.; BONCZYNSKI, R. G.; BRAGA, I. S.; TEIXEIRA, H. L.; FONSECA, A.; ALAME, F.; CASSALHO, F. KARSBURG, R. M.; TERRA, V. S. S.; SILVEIRA, J. F.; COLLARES, G. L. Análise de metodologias para estimativa da produção de sedimentos em suspensão. In: *Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, novembro 2015.

NÚÑEZ, M. V. J. (1991). *Perdas de Solo e Nutrientes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, RS. Santa Maria*, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. 67 p.

PAIVA, E.M.C.D. (2003). Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. In :PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. (Orgs.). “Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas”. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.p p.493-506.

PASSOS, P. F.; SANTANA, N. M. G.; TEIXEIRA, J. L.; PAZ, D. M.; MENEZES, J. B.(2010). Uso de técnicas de geoprocessamento para estimativa de áreas susceptíveis à erosão na bacia hidrográfica do rio Mamanguape- PB. In: *Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife, Julho 2010, pp. 01 – 05.

SILVEIRA, G. L. (1982) *Representatividade dos Parâmetros de chuva e influência da Área cultivada, da Declividade e do Uso do Solo na Produção de Sedimentos*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 151p.

SECRETÁRIA DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMA). Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/>. Acesso em: 10 abril 2017.

SOUZA, C. F, DARNELLES, A. M, ACROLI, L. A, MERTEN, G. (2006). Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu. In: *Anais VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, Porto Alegre, RS.