

**Avaliação qualitativa do efeito de histereses entre vazão e concentração de sedimentos em suspensão no rio Jundiá, SP**

**Luis Fernando Murillo Bermúdez**

*Estudante pós-graduação FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, luismurillo@fec.unicamp.br*

**André Luís Sotero Salustiano Martim**

*Professor Doutor FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, sotero@fec.unicamp.br*

**ABSTRACT**

*Hydrosedimentological dynamics in watersheds show a non-linearity and the factors that intervene are still the subject of debate in the scientific context. The present work, through qualitative analysis of the hysteresis effect between measured flow data and suspended sediment concentration data correlated with turbidity values, sought to preliminarily evaluate some of the variables that interfere in the sediment transport process. As a result, a description of 17 rainfall events was obtained for high flows where the predominance was of type eight, related to events with multiple discharge peaks that connect different sources of sediments upstream of the measurement point, generating patterns with greater complexity.*

**KEY-WORDS:** Hydro-sedimentology, watershed, hysteresis effect.

**1. INTRODUÇÃO**

Atividades de origem antrópica geram um grande impacto nos processos de erosão e transporte de sedimentos dentro das bacias hidrográficas, que sendo considerados processos naturais de transferência de material para os oceanos, tem-se visto alterados por atividades como desmatamento, desenvolvimento de agricultura, sistemas de irrigação e construção de infraestrutura e barragens (GOLOSOV E WALLING, 2019).

Bilotta e Brazier, (2008) expõem uma síntese abrangente dos problemas advindos do carregamento de material sólido em suspensão em ecossistemas aquáticos, denotando as perturbações antrópicas que podem levar a alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas dos corpos de água, neste contexto, salientam a necessidade do aprimoramento das estratégias de monitoramento de sedimentos suspensos. Esta premissa é facilmente extrapolável para o contexto nacional, tal como é descrito por Sari, et al. (2015), a rede de monitoramento brasileira de produção e transporte de sedimentos ainda é uma limitante para o desenvolvimento de um planejamento e conservação adequado dos recursos hídricos e do solo relacionados com problemas de erosão e transporte de sedimentos.

A aquisição e monitoramento contínuo deste tipo de dados facilitam a inclusão de análises de transporte de sedimentos em eventos de chuva (RIVER E RICHARDSON, 2019; GARCIA E HARRINGTON, 2019). As análises de histereses focados na direção, forma e quantificação por eventos de chuva podem proporcionar esclarecimento do papel de certos fatores relacionados com a dinâmica hidrossedimentar em escala de bacia. Entre os fatores

relacionados estão variáveis hidrológicas e de suprimento de sedimentos e das características físicas próprias da bacia hidrográfica (VALE E DYMOND, 2019).

Segundo o exposto por Malutta et al. (2020), ainda não existe um consenso sobre os fatores que afetam este fenômeno, a autora também relata que a maioria destes estudos foram desenvolvidos em bacias hidrográficas nos Estados Unidos e Europa, em contraste com o cenário brasileiro, onde ainda são poucos os estudos deste tipo.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente o efeito de histereses entre a vazão (Q) concentração de sedimentos em suspensão (CSS) no período de dos anos hidrológicos, no intuito de caracterizar processos hidrossedimentológicos presentes na parte alta da bacia hidrográfica do rio Jundiáí.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Localização da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do rio Jundiáí, está localizada no estado de São Paulo, região sudeste do Brasil. Conformando a unidade N°5 de Gerenciamento de Recurso Hídrico do Estado de São Paulo junto as bacias adjacentes dos rios Piracicaba e Capivari. Especificamente, a parte alta desta bacia, apresenta uma área aproximada de 139,3 m<sup>2</sup>. Os municípios de Mairiporã, Atibaia, Jarinu e Campo Limpo Paulista encontram-se dentro da área de captação.

### 2.2. Monitoramento hidrossedimentológico

Na parte alta da bacia hidrográfica do rio Jundiáí o monitoramento hidrológico do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) é realizada pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) próximo ao ponto de fechamento da bacia nas (Coordenadas: -23.20883315, -46.76016730), o qual fornece a cada 10 minutos dados fluviométricos.

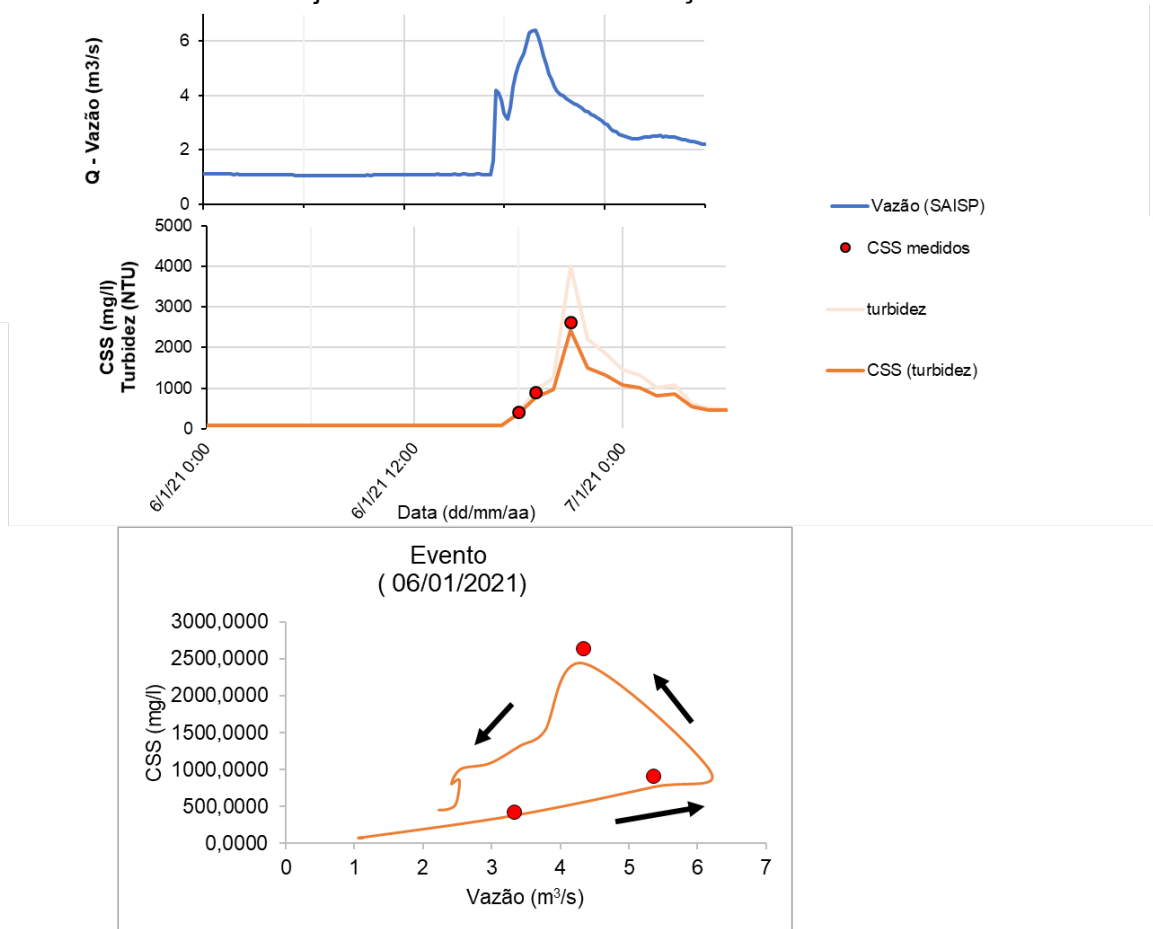
A turbidez é medida dentro da ETA da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) coletando as amostras de água bruta do rio Jundiáí a cada hora. Para realizar a correlação entre dados de turbidez e CSS foi usado o amostrador manual DH-48 e o amostrador automático ISCO, posteriormente estas amostras foram tratadas para determinar a CSS pelo método de filtração, a equação 1 é representativa para o local de estudo.

$$\text{CSS} = 3,264 \times \text{Turbidez}^{0,7974} \quad (1)$$

A partir das séries de dados temporais de Q e CSS com frequência horaria, foram selecionados os eventos de chuva que apresentaram uma vazão igual a 10 m<sup>3</sup>/s, estes eventos equivalem a menos do 1,5% do tempo monitorado e representam os eventos com maior movimentação de sedimentos, foram plotados em gráficos Q vs CSS, tendo como exemplo a Figura 1.

Finalmente, foram avaliados os seguintes parâmetros para cada um dos 17 eventos selecionados: os tempos de duração do evento, a vazão mínima e máxima e a CSS mínima e máxima, o formato e direção dos laços de histereses formados (horários, anti-horários ou com formato em oito).

**Figura 1** – Exemplo da formação de laços de histerese entre Q e CSS para o rio Jundiá junto com os dados de medições físicas.



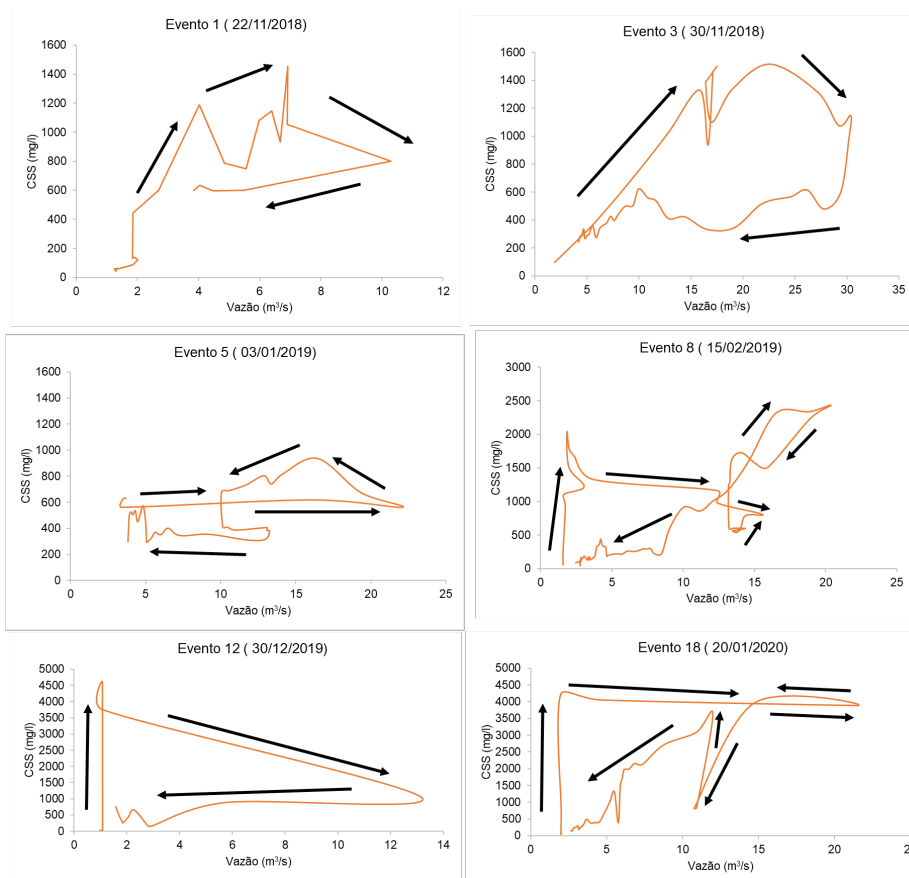
Fonte: Autoria própria, 2022.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 17 laços de histereses analisados, 76 % foram contemplados como representando um laço em formato tipo oito, este tipo de laço está relacionado com múltiplos picos de descarga, observe-se que a complexidade dos eventos com este tipo de característica é maior do que os que apresentaram uma curva no sentido horário, além, os eventos no formato tipo oito apresentaram maior tempo de duração, o que produziria uma contribuição de vazão e sedimento a montante desde outras sub-raciais gerando uma maior conectividade (GAO E JOSEFSON, 2012).

Já os eventos caracterizados como de tipo horário, possivelmente estão relacionados com fontes de sedimentos próximas que são mobilizadas rapidamente e que posteriormente produzem uma queda vertiginosa do sedimento disponível para ser transportado (MALUTTA, ET AL. 2020). Vários tipos de laços de histereses são apresentados na Figura 2 como também um resumo das características dentro da Tabela 1.

**Figura 2** – Laços de histereses para eventos dentro da bacia hidrográfica do rio Jundiá.



Fonte: Autoria própria, 2022.

**Tabela 1 - Resumo das características de efeito de histereses para os eventos selecionados.**

Eventos	Data	Hrs	Qmin	Qmax	CSSmin	CSSmax	Histerese
1	22/11/2018	38	1,25	10,29	43,58	1455,08	Horário
2	24/11/2018	53	3,56	12,48	351,82	2709,72	8
3	30/11/2018	55	1,87	30,38	97,28	1515,5	Horário
4	24/12/2018	65	2,249	17,03	296,79	3037,89	8
5	03/01/2019	94	2,28	22,08	108,53	1725,24	8
6	16/01/2019	26	1,79	14,69	75,05	1286,78	8
7	25/01/2019	83	1,23	16,42	60,6	2719,15	8
8	15/02/2019	114	1,58	20,39	39,08	2432,39	8
9	25/02/2019	95	1,84	11,792	56,85	2528,88	8
10	17/03/2019	60	3,42	10,62	115,95	1725,24	8
11	04/07/2019	92	1,82	20,95	117,56	2719,15	8
12	30/12/2019	23	0,981	13,15	29,78	4602,5	Horário
13	02/01/2020	55	1,209	16,01	56,85	2280,85	Horário
14	07/01/2020	62	3,049	22,256	166,95	2323,14	8
15	02/02/2020	147	1,86	28,371	79,71	2596,19	8
16	09/02/2020	104	2,612	23,114	108,54	1830,27	8
17	20/02/2020	50	1,983	21,362	56,85	4227,4	8

Fonte: Autoria própria, 2022

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o uso de dados de turbidez da água bruta da ETA na cidade de Campo Limpo Paulista foi possível analisar as características dos laços de histereses entre vazão e CSS na parte alta da bacia hidrográfica do rio Jundiá para eventos de chuva que apresentaram vazões maiores a 10 m<sup>3</sup>/s, um total de 13 dos laços analisados foram do tipo 8, possivelmente relacionados com múltiplos picos de vazão que promovem a chegada de sedimentos de outros lugares da bacia contribuinte e 4 foram no sentido horário, processo com maior relação a sedimentos mobilizados desde lugares próximos ao local de medição.

Espera-se em estádios futuros desta pesquisa a realização das avaliações quantitativas como é o Índice de Histereses e a inserção de outras variáveis hidrológicas como as relacionadas com precipitação para um maior número de eventos, além de integrar análises de incertezas dos dados e possíveis aplicações dos padrões de histereses para calibrações de modelos hidrossedimentológicos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILOTTA, G.S; BRAZIER, R.E. *Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota*. Water Research, 42, 2849-2861, 2008.

GARCÍA J.T.; HARRINGTON J.R.; *Fine Sediment Modeling During Storm-Based Events in the River Bandon, Ireland*. Water. 11(7):1523; 2019.

GAO, P.; JOSEFSON, M. *Event-based suspended sediment dynamics in a central New York watershed*. Geomorphology, 139-140:425-437; 2012.

GOLOSOV, V.; WALLING, D. *Erosion and sediment problems: global hotspots*. UNESCO, 2019.

MALUTTA, S., MASATO, K., BORGES P. L., BONUMÁ. N B. *Hysteresis analysis to quantify and qualify the sediment dynamics: state of the art*. Water Sci Technol; 81 (12): 2471–2487, 2020.

RIVER, M.; RICHARDSON, C. J. (2019). *Suspended sediment mineralogy and the nature of suspended sediment particles in stormflow of the Southern Piedmont of the USA*. Water Resources Research, 55.

SARI, V.; CASTRO, N.; KOBAYAMA, M. *Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 816–836, 2015.

VALE, S.S.; DYMOND, J. R. *Interpreting nested storm event suspended sediment-discharge hysteresis relationships at large catchment scales*. Hydrological Processes. 34: 420– 440; 2020.