




## Geociências

# Estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos

Sediment yield estimation using the sediment-transport curve

Danlei de Menezes<sup>I</sup>, Francisco Fernando Noronha Marcuzzo<sup>II</sup>,  
Marcia Conceição Rodrigues Pedrollo<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>II</sup>Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Ministério de Minas e Energia, Superintendencia Regional de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil

## RESUMO

A quantificação do fluxo de sedimentos é importante para determinar os impactos dos processos erosivos na bacia hidrográfica. Uma das maneiras de determinar seus valores é por meio da construção da curva-chave de sedimentos. O objetivo deste trabalho é calcular a produção de sedimentos e analisar a variação temporal em uma estação de monitoramento hidrossedimentológico por meio da concepção e ajuste da curva-chave de sedimentos, testando os desvios para ajuste da curva com um único tramo e dividida em dois tramos. A estação 87380000 está localizada no município de Campo Bom (RS), operada pela CPRM. A curva-chave foi construída em um único tramo e com divisão em dois tramos. Além disso, foi utilizado o solver do Excel para ajustar a curva aos dados. A comparação do desvio padrão relativo calculado para cada curva permitiu a avaliação dos resultados. A curva-chave que melhor representou o conjunto de dados foi a construída com a divisão em dois tramos ajustada pelo solver.

**Palavras-chave:** Descarga sólida; Curva-chave; Monitoramento

## ABSTRACT

Quantification of sediment yield is important in determining the impacts of erosion processes on the watersheds. One way to determine their values is through the construction of the sediment-transport curve. The objective of this work is to calculate the sediment yield and to analyze the time variation in a hydrosedimentological monitoring station by designing and adjusting the sediment-transport curve, testing the deviations for curve fitting with a single section and divided into two sections. The 87380000 station is located in the municipality of Campo Bom (RS), operated by CPRM. The sediment-transport curve was built in a single section and divided into two sections. In addition, the Excel solver was used to set the curve to the data. Comparison of the relative standard deviation calculated for each curve allowed a

comparison of the results. The sediment-transport curve, that best represented the data set was the one constructed with the split in two sections adjusted by the solver.

**Keywords:** Solid discharge; Rating curve; Monitoring

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do fluxo de sedimentos de um curso d'água permite o diagnóstico de eventuais impactos na bacia hidrográfica ao longo do tempo, podendo tornar-se importante indicador ambiental (WANG et al., 2014). Isso porque, a presença de sedimentos na água está relacionada a problemas de assoreamento de reservatórios, abastecimento de água para a população, manutenção de micro-organismos aquáticos, entre outros.

Dessa forma, a quantificação da descarga sólida é importante para a melhor gestão dos recursos hídricos. Tradicionalmente, a descarga sólida pode ser determinada por meio da chamada curva-chave de sedimentos, que relaciona a descarga sólida em suspensão com a descarga líquida. A correlação mais usual é a curva-chave utilizando a cota do nível de água e a descarga líquida em um rio. No entanto, o uso da curva-chave de sedimentos, construída por medições de vazão e sedimentos à campo, permite o conhecimento da descarga sólida para um longo período de tempo.

Na natureza, para cada valor de vazão em um determinado intervalo de tempo existe um valor distinto de descarga sólida. Entretanto, o fenômeno é muito aleatório, pois a curva-chave permite obter valores médios (CARVALHO, 2008). Para diminuir os erros associados a essa estimativa é recomendado utilizar um número expressivo de pontos medidos, alcançando maior variação da vazão (valores máximos e mínimos).

A existência da curva-chave possibilita um cálculo aproximado de dados diários de sedimento e da descarga sólida média anual por meio do conhecimento da descarga líquida. Para sua obtenção são necessárias coletas de amostras com valores de concentração ou de descarga sólida, tanto em suspensão quanto de arraste ou os dois juntos. A utilização de métodos de estimativa, como o da curva-

chave, decorre do fato de que a realização diária de coleta das informações e análise dessas amostras é economicamente inviável e necessita de equipamentos e pessoal qualificado.

Por outro lado, o método da curva-chave de sedimentos apresenta algumas deficiências devido à influência de outros fatores como a intensidade de precipitação, o uso e ocupação do solo, o controle da erosão, os quais são altamente variáveis no tempo e no espaço. Para contornar esse problema, pode-se plotar curvas de diferentes períodos (períodos de estiagem e períodos chuvosos). Ainda, é necessário destacar a importância de que as medições de vazão tenham atingido toda a variação do nível d'água do período considerado.

Assim, o objetivo deste trabalho é calcular a produção de sedimentos e analisar a variação temporal em uma estação de monitoramento hidrossedimentológico por meio da concepção e ajuste da curva-chave de sedimentos, testando os desvios para ajuste da curva com um único tramo e dividida em dois tramos.

### **1.1 Parâmetros da curva-chave de sedimentos**

Os dados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) são medidos, na maioria dos locais, em intervalos de amostragem com baixa frequência, geralmente com variação mensal. Esses conjuntos de dados têm limitações importantes para o uso em pesquisas de transporte de sedimentos, pois é improvável que incluam todos os eventos de transporte de sedimentos mais significativos (KIRCHNER et al., 2004).

No entanto, dados de baixa frequência podem fornecer informações significativas sobre padrões espaciais e temporais de transporte de sedimentos e nutrientes (WORRALL et al., 2013). Uma das técnicas mais conhecidas para analisar dados de sedimentos em suspensão de baixa frequência é a curva-chave de sedimentos, descrita primeiramente por Miller (1951). A curva-chave possibilita a

obtenção de séries contínuas de estimativas de CSS para calcular a produção de sedimentos (PS) em uma bacia hidrográfica por unidade de área por ano.

Na curva-chave os dados são frequentemente ajustados por meio de técnicas de regressão, como a regressão linear logaritmizada (MARCUIZZO, 2014), comumente usada entre dados de descarga líquida ( $Q$ ) e CSS ou descarga sólida ( $Q_{st}$ ):

$$\log(CSS) = b \cdot \log(Q) + \log(a) \quad (1)$$

onde  $a$  e  $b$  são os parâmetros de classificação encontrados a partir da regressão (SYVITSKI et al., 2000). Nesta equação,  $\log(a)$  é o valor da interceptação do eixo y (ou seja, quando  $\log(Q)$  é igual a zero), e  $b$  é a inclinação entre os dados  $Q$  e CSS transformados em log. Após manipulação algébrica a Equação (1) pode ser reescrita como equação potencial:

$$CSS = a \cdot Q^b \quad (2)$$

De acordo com Syvitski et al., (2000), os parâmetros  $a$  e  $b$  estão relacionados às características da bacia hidrográfica, como relevo topográfico e escoamento superficial. Entretanto, podem variar significativamente no tempo devido à disponibilidade de sedimentos na bacia (HUANG & MONTGOMERY, 2013; BUSSI et al., 2016).

Os valores dos parâmetros geralmente apresentam um comportamento sazonal. Walling (1977) descobriu que uma grande parte da variabilidade da curva-chave para dois rios no sul da Inglaterra poderia ser explicada dividindo-se as amostras de CSS em grupos sazonais e ajustando curvas diferentes para cada grupo. Da mesma maneira, Asselman (2000) também agrupou amostras de CSS de diferentes estações para entender os padrões de sedimentos sazonais do Rio Reno.

As equações (1) e (2) são conhecidas como curva-chave de sedimentos, devido à sua potencial utilidade para prever concentrações de sedimentos suspensos por intervalos de tempo sem amostragem (ASSELMAN, 2000).

## **1.2 Análise preliminar dos parâmetros da curva-chave de sedimentos**

Segundo Glysson (1987), para evitar erros de interpretação, uma análise gráfica preliminar deve ser o primeiro passo no desenvolvimento de uma curva-chave de sedimentos. Um gráfico simples de descarga de sedimentos ou concentração versus descarga líquida pode indicar se a relação entre essas variáveis é simples ou complexa.

Ainda conforme Glysson (1987), há cinco questões que devem ser consideradas durante a análise preliminar da construção da curva-chave de sedimentos: 1. A relação é uma ou mais linhas retas ou uma curva? 2. Os dados são adequados para estabelecer uma relação em toda a faixa de descarga líquida esperada no local que está sendo avaliado? 3. Os dados cobrem períodos secos e úmidos, inverno e verão e todas as fases do hidrograma? 4. Existem anos ou eventos atípicos contidos nos dados que poderiam incorretamente corromper a relação? 5. Especialmente na extremidade superior da curva, existe um número de dados representativos de eventos ou eles são predominantemente de um único evento?

Além de verificar como as curvas se comportam e variam com o tempo, é importante determinar os processos hidrológicos que causam essas mudanças. Dentre esses processos, o escoamento, a erosão e o ciclo de água e sedimentos em toda a paisagem e rede de canais são os que mais influenciam na curva-chave (SYVITSKI et al., 2000).

O principal processo é a disponibilidade de sedimentos no curso d'água ou para o curso d'água (HUANG & MONTGOMERY, 2013). Como a maioria dos sedimentos em suspensão é transportada como descarga sólida e é dependente das taxas de fornecimento de sedimentos para o canal do rio, as concentrações

suspensas do rio reagem fortemente aos aumentos ou diminuições no fornecimento de sedimentos (ASSELMAN, 2000).

A vazão ou a taxa de descarga do rio também é outra variável importante, já que está relacionada tanto à capacidade de erosão da água quanto ao transporte de sedimentos suspensos e à capacidade de descarga do rio para diluir as concentrações de sedimentos em um canal. Assim como a precipitação, que age na desagregação das partículas do solo, tornando-as disponíveis para serem transportadas.

Embora existam outras variáveis que podem alterar os padrões entre  $Q$  e  $CSS$ , como as distribuições granulométricas dos sedimentos suspensos e do leito (WALLING, 1974; RUBIN & TOPPING, 2001), este trabalho analisará dois parâmetros - descarga líquida e sólida - como fatores de controle para curvas-chave de sedimentos.

### **1.3 Métodos de construção da curva-chave**

Neste trabalho as curvas serão construídas com a descarga de sedimentos como a variável dependente. A convenção exige que a variável dependente seja plotada como ordenada, já que a descarga líquida é utilizada para calcular a descarga sólida (variável dependente). Entretanto, Glysson (1987) sugere que as variáveis independentes sejam expressas em termos significativos. O autor sugere que a descarga líquida não se utilize diretamente como uma variável independente para uma relação a ser aplicada a bacias de drenagem de tamanhos diferentes, mas sim, ser expressa como vazão por unidade de área ou como uma relação com a vazão média.

Em alguns casos, é necessária mais de uma curva para representar adequadamente a correlação entre os dados de vazão e descarga sólida em uma estação. Geralmente, curvas-chave variam de acordo com o período (estações do ano, por exemplo) ou com a vazão. Quando há variações em função do período pode-

se obter, por exemplo, uma curva-chave de sedimentos até um determinado ano ou estação do ano e, a partir desse, uma segunda correlação. O mesmo vale para a diferenciação das curvas em função da vazão.

Para avaliar a necessidade de gerar mais de uma curva-chave de sedimentos para uma dada estação, podem se utilizar diferentes critérios, como o valor do coeficiente de determinação (R-quadrado) e a análise visual da curva gerada em relação aos pontos medidos. Além disso, podem ser utilizadas a minimização do somatório dos desvios do valor calculado e observado ao quadrado, ou da somatória dos desvios absolutos ou relativos.

### **1.3.1 Método de traçado visual**

Dentre as técnicas, o método de traçado visual objetiva interpolar, visualmente, a melhor curva que representaria a média dos pontos plotados, após a exclusão dos pontos considerados inaceitáveis. Esse método é sujeito a erros porque a interpolação visual é feita por média entre pontos como se fossem valores aritméticos. Por outro lado, quando os pontos são agrupados num alinhamento, com os valores sem grande dispersão, esse método apresenta bom resultado (CARVALHO, 2008).

### **1.3.2 Método da regressão**

Nesse método, obtém-se uma reta tal que a soma dos quadrados dos desvios entre essa reta e os valores observados seja mínima. Para isso, após plotar os pontos e interpolar visualmente, deve-se obter as equações dentro dos limites estabelecidos. As equações obtidas deverão reconstituir aproximadamente o que foi feito visualmente, pois o simples equacionamento matemático pode conduzir a erros (CARVALHO, 2008).

Após a obtenção da equação, faz-se a plotagem da curva para verificação. Caso os pontos estejam bem distribuídos e não possuam grande dispersão, a regressão linear apresentará um bom resultado.

#### **1.4 Estimativa da produção de sedimentos por meio da curva-chave e suas limitações**

A quantidade de sedimentos produzida em uma bacia hidrográfica está relacionada às características e ao estado da bacia. Entretanto, essas características se alteram ao longo do tempo, tornando mais complexa a mensuração dos sedimentos transportados.

A curva-chave de sedimentos tem sido bastante utilizada para estimar a produção de sedimentos (ASSELMAN, 1999; BRONSDON & NADEN, 2000; GOODWIN et al., 2003; BELLINASSO & PAIVA, 2007; CARDOSO, 2013). No Brasil, o estudo de Cardoso (2013), analisou as relações entre chuva, vazão e sedimentos em suspensão na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (SC) (64,41 km<sup>2</sup>); Bellinasso & Paiva (2007) realizaram o estudo em uma pequena bacia hidrográfica em Santa Maria (RS) em fase de urbanização, com apenas 0,53 km<sup>2</sup>. Já Asselman (1999) aplicou este método na bacia do rio Reno, o maior rio da Europa ocidental, com 165.000 km<sup>2</sup>.

Uma das limitações da utilização da curva-chave de sedimento é que se assume que a vazão é um bom parâmetro preditor da CSS, em que é assumido que o pico da CSS coincide com o pico da vazão (FINLAYSON, 1985). Por isso, uma análise detalhada dos métodos de construção da curva-chave de sedimentos é sempre importante para entender as limitações e erros envolvidos na determinação das variáveis, como erros relacionados à discretização e uso da curva de permanência de vazão, erros relacionados à extrapolação e erros relacionados à qualidade dos dados (CÓRDOVA & GONZALEZ, 1997).

Para bacias maiores, por exemplo, o uso da curva-chave de sedimento é mais adequado, isso se deve ao fato da diferença entre vazões médias, máximas e



mínimas diárias não ser tão significativas (CÓRDOVA & GONZALEZ, 1997). Já para bacias menores o uso da curva não é muito indicado, explicado pela ausência de linearidade e alta dispersão da relação entre  $Q$  e  $CSS$  (BELLINASSO & PAIVA, 2007; DUVERT et al., 2012).

Nesse sentido, para a obtenção de dados confiáveis em pequenas bacias hidrográficas é importante a medição constante de  $Q$  e  $CSS$  (CÓRDOVA & GONZALEZ, 1997; MINELLA & MERTEN, 2011). Para a aquisição de dados confiáveis em pequenas bacias podem ser utilizados equipamentos alternativos que permitam a realização dessas medições continuamente, como sensores de turbidez (MINELLA & MERTEN, 2011).

Segundo Reid et al. (1997), vários fatores influenciam a relação entre a  $Q$  e  $CSS$  podendo destacar a intensidade da chuva, a variação temporal e diferentes tipos de uso da terra, que podem beneficiar ou dificultar a ocorrência dos processos erosivos. Além disso, a declividade da bacia hidrográfica e as condições de umidade e descarga influenciam na quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal (REID et al., 1997).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A estação Campo Bom (código: 87380000) (Figura 1) está localizada no rio dos Sinos (latitude  $-29^{\circ}41'31''$  e longitude  $-51^{\circ}02'42''$ ) no município de mesmo nome, no estado do Rio Grande do Sul. A estação está inserida na sub-bacia 87, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica de número oito, denominada Bacia Hidrográfica do Atlântico - Trecho Sudeste, pertencente à Região Hidrográfica do Atlântico Sul, de número 12 (MARCUIZZO, 2017).

Considerando a divisão estadual de bacias hidrográficas, a estação se encontra na sub-bacia G020, cuja área de drenagem é aproximadamente de  $3.677\text{km}^2$

(MARCUIZZO, 2018). Considerando a área de drenagem da estação aproximada a 2.900 km<sup>2</sup> (altitude de 12,0 m) (ANA, 2017), a sua área de drenagem corresponde à aproximadamente 79% da área total da bacia do Rio dos Sinos. Maiores detalhes da estação podem ser visualizados no inventário das estações fluviométricas da rede hidrometeorológica nacional no Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>.

De acordo com Dos Santos et al. (2011), na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos existem diferentes tipos de solos: Planossolo Háplicos Eutróficos, Argissolos vermelho-amarelos Distróficos; Neossolos Litólicos Eutróficos; Nitossolos Vermelhos Eutróficos; Neossolos Quartzarênicos Orticos e Cambissolos Húmicos Distróficos (Figura 2). A região onde está instalada a estação é caracterizada por Planossolo (aproximadamente 30%), entretanto, considerando toda a área de drenagem a jusante, o tipo de solo mais recorrente é Argissolo. As demais características da bacia, como geologia, caracteriza-se por basaltos da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu (AZEVEDO, 2013). O uso do solo da bacia possui 42% de vegetação, entretanto, próximo à estação de monitoramento existem áreas urbanas (8,67%) (AZEVEDO, 2013).

A bacia é caracterizada por grande variabilidade altimétrica. Na região localizada ao norte, as altitudes chegam a 991 metros, que compreende desde parte do município de Canela até próximo à Maquiné. Por outro lado, a grande extensão do rio dos Sinos localiza-se em região plana, com menor diferença de altitude. Em relação à precipitação, apresenta regiões de características pluviométricas distintas, como representado na Figura 3. Nesta Figura, é possível observar que a estação está localizada em uma região que consiste em valores de precipitação variando de 1622 a 1709 mm. Os maiores valores são observados na região noroeste da bacia.

Na Figura 4 é possível observar o diagrama unifilar da bacia que contém a estação deste estudo (GUIMARÃES et al., 2017), que pode ser baixado com melhor resolução para o leitor ter acesso a detalhes em

<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18953>. Diagramas unifilares consistem na construção de esquemas em cursos d'água, em que são alocadas as estações em operação, estações desativadas e os barramentos na bacia, para melhor entendimento de informações de estações da rede hidrometeorológica e de barramentos disponíveis em uma bacia hidrográfica.

Ainda, a seção possui uma estação telemétrica, em que os dados são medidos por meio de um linígrafo acoplado em uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) em intervalo de 15 minutos (Figura 5). A mesma Figura mostra detalhes do conjunto de réguas instaladas no local para verificação diária do observador.

Para mais detalhes desta seção, a Figura 6 mostra a margem esquerda e a margem direita, em que é possível observar certo grau de degradação, como taludes expostos, galhos de árvores trancados nos pilares da ponte. Além disso, presencialmente, a equipe de campo destaca que o odor é muito forte, devido ao lançamento de efluentes próximo a seção em estudo.

Figura 1 - Localização da estação 8738000 na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

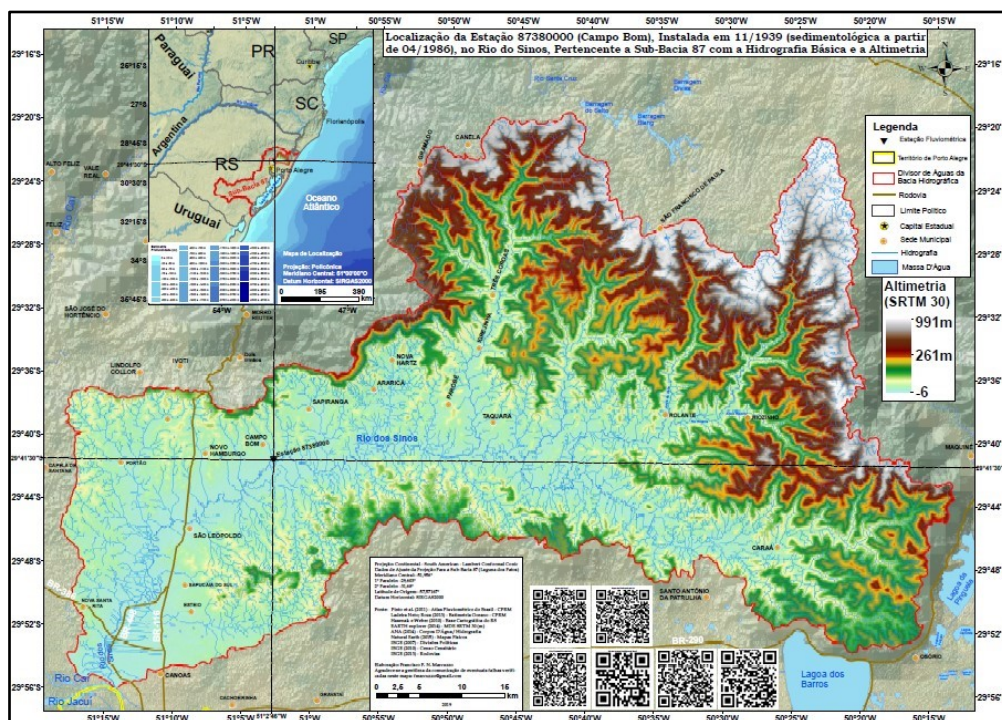
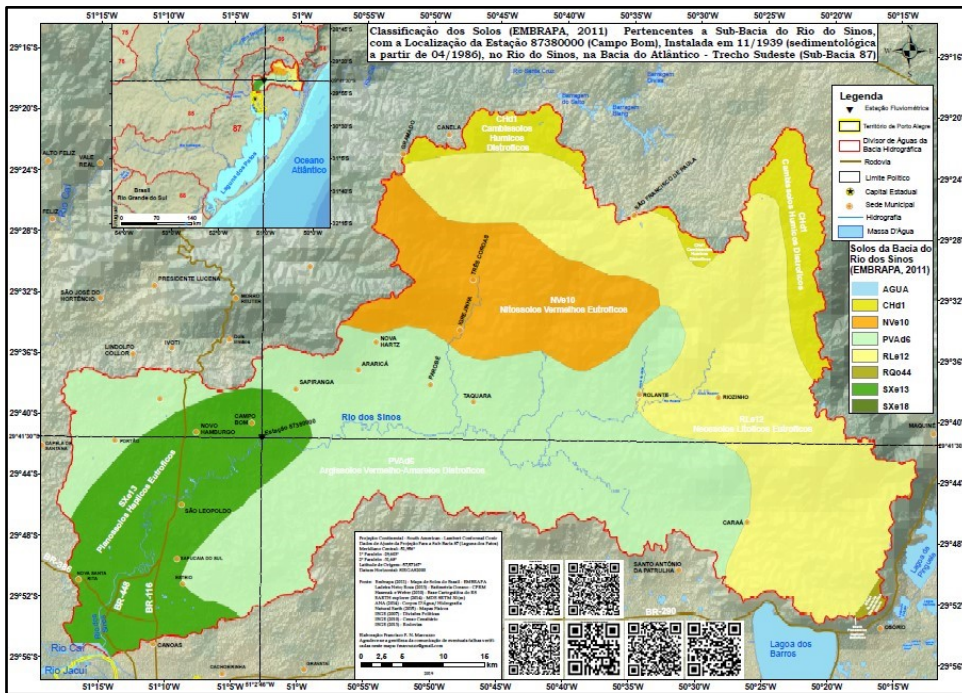
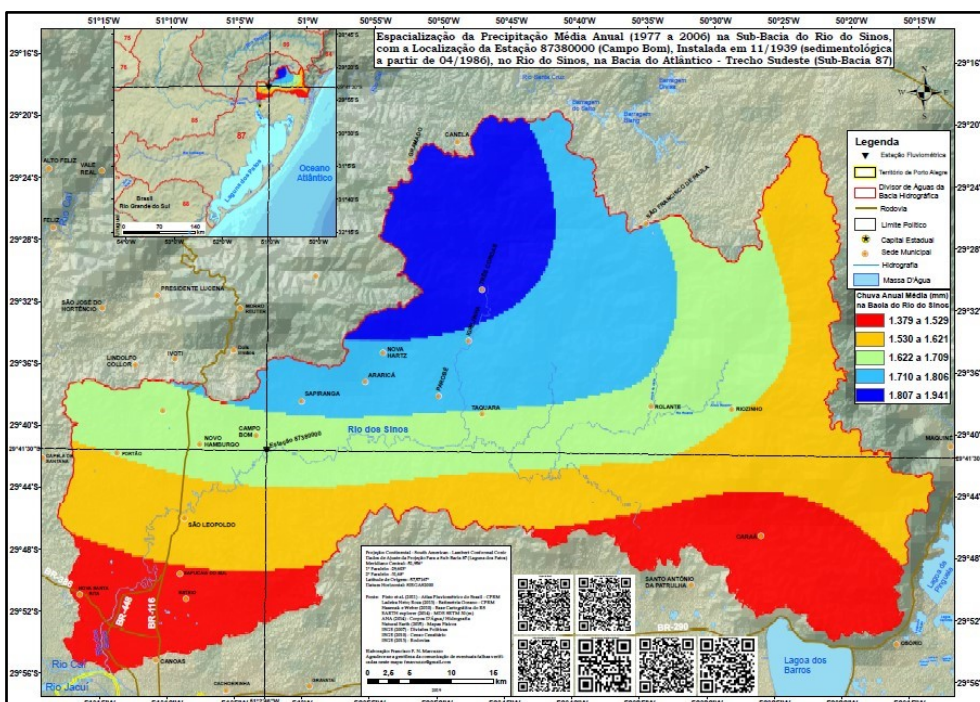


Figura 2 – Classificação do solo para a bacia do rio do Sinos



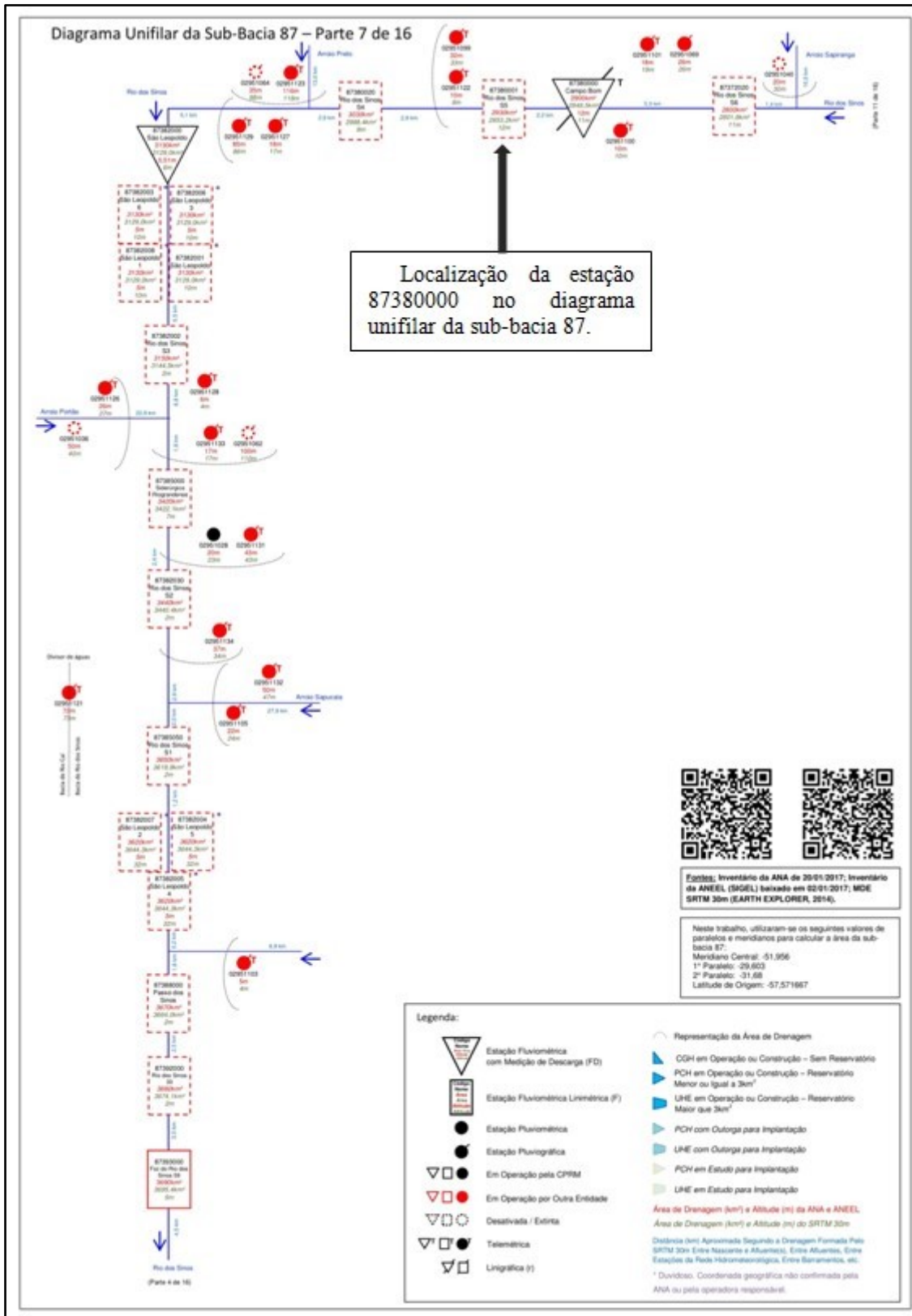
Fonte: Pinto et al., (2011)

Figura 3 – Características pluviométricas da bacia do rio dos Sinos



Fonte: Pinto et al., (2011)

Figura 4 - Diagrama unifilar da sub-bacia 87 contendo a estação 87380000



Fonte: Guimarães et al., (2017).

Figura 5 - Seção de régua e plataforma de coletas de dados



Figura 6 - Margem esquerda e direita da seção



A estação Campo Bom, instalada nesta bacia, está em operação desde 1939 e vem demonstrando as alterações das mudanças do uso do solo, principalmente o aumento da urbanização. Já a coleta de sedimentos iniciou apenas em 1993. Por isso o intervalo de dados de análise tomado como base foi de 1994 a 2017 para o cálculo da produção de sedimentos.

## **2.1 Descrição dos dados e análise de consistência**

Os dados de  $Q$  e  $CSS$  foram obtidos através do banco de dados HIDRO, para o período de 1994-2017, totalizando 61 medições e coletas a campo. Esses dados são coletados pela equipe de monitoramento hidrológico da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA). Por meio dessas coletas, foi possível construir a curva-chave de sedimentos para todo esse período. Ainda, é importante destacar que a estação Campo Bom foi escolhida por apresentar a menor diferença entre a cota de coleta de sedimentos pela equipe de campo e a maior cota observada durante eventos de chuva. Isso diminuiria os erros associados às estimativas de descarga sólida.

Para que esses dados pudessem ser utilizados, primeiramente efetuou-se uma análise de consistência. Todos os dados de medição foram conferidos nas planilhas de campo digitalizadas e os dados considerados duvidosos eram retirados da análise e/ou corrigidos. Neste processo, foram identificados quatro pontos atípicos (*outliers*) que não representam o comportamento do conjunto de dados.

## **2.3 Construção das curvas-chave de sedimentos**

Para a construção da curva-chave foi calculada, primeiramente, a descarga sólida total ( $Q_{st}$ ) pelo método simplificado de Colby (1957) descrito com mais

detalhes por Carvalho (2008). O método utiliza três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e CSS para estimar a descarga sólida não medida, a qual foi calculada diretamente pelo HIDRO. Assim, a descarga sólida total é calculada pela soma da descarga sólida medida e pela descarga sólida não medida

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (3)$$

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C'_s \quad (4)$$

$$Q_{nm} = q'_{nm} \cdot K \cdot L \quad (5)$$

em que  $Q_{st}$  é a descarga sólida total ( $t.d^{-1}$ );  $Q_{sm}$  é a descarga sólida medida ( $t.d^{-1}$ );  $Q_{nm}$  é a descarga sólida não medida ( $t.d^{-1}$ );  $Q$  é a descarga líquida ( $m^3.s^{-1}$ );  $C'_s$  é a concentração de sedimentos em suspensão medida (ppm);  $L$  é a largura do rio (m) e  $K$  é o fator de correção.

O método da regressão possui a forma de uma equação do tipo exponencial que representa o melhor comportamento da relação dos dados.

$$Q_{st} = a \cdot Q_n \quad (6)$$

em que  $Q_{st}$  é a descarga sólida total ( $t.d^{-1}$ );  $Q$  é a descarga líquida ( $m^3.s^{-1}$ ) e  $a$  e  $n$  são valores adimensionais de ajuste da equação.

Pelo método da regressão linear os parâmetros  $a$  e  $n$  são obtidos através das equações 7 e 8. Esse tratamento permite a obtenção da equação, onde posteriormente é avaliada a diferença, pelo método dos mínimos quadrados, dos desvios entre os valores obtidos pela equação encontrada e os valores medidos.

$$n = \frac{\sum[\log(Q) \cdot \log(Q_{st})] - N \cdot \log(Q_m) \cdot \log(Q_{stm})}{\sum[\log(Q)^2] \cdot N \cdot [\log(Q_m)]^2} \quad (7)$$

$$a = 10^{\log Q_{stm} - n \log Q_m} \quad (8)$$



em que,  $\log(Q_m)$  e  $\log(Q_{stm})$  correspondem a média dos logaritmos dos valores medidos da descarga líquida e descarga sólida, respectivamente, e  $N$  é o número de pontos observados.

## 2.4 Cálculo da produção de sedimentos anual

De posse da curva-chave de sedimentos foi possível calcular a  $Q_{st}$  diária utilizando os dados de  $Q$  diária e, conseqüentemente, a  $Q_{st}$  mensal. Assim, com a soma obtida das descargas sólidas mensais foi encontrado o valor da  $Q_{st}$  anual, equivalente à produção de sedimentos para a estação.

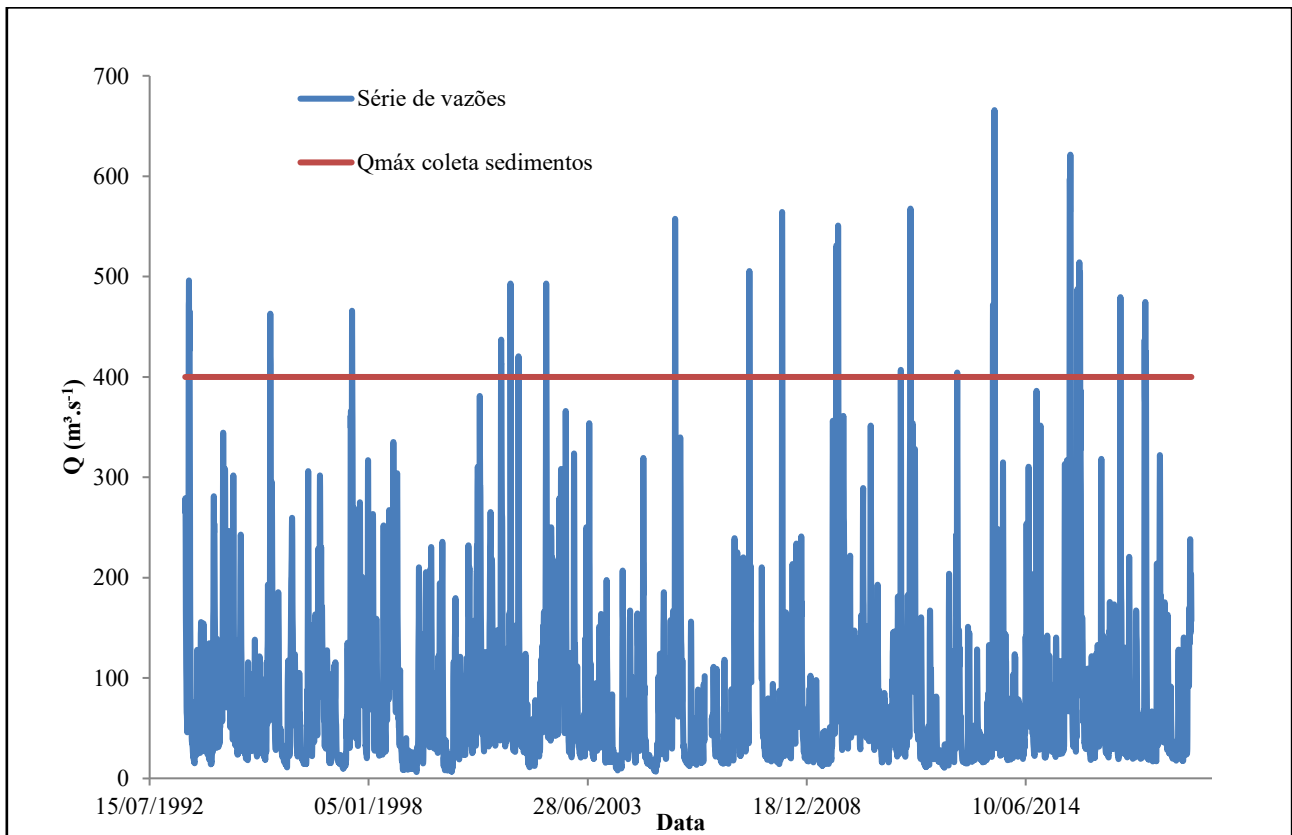
$$PS \text{ anual} = \sum Q_{st} \text{ mensal} \quad (9)$$

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Consistência dos dados

Para o período com coleta de sedimentos foram selecionados os dados de vazão correspondentes, conforme mostrado na Tabela 1 (Apêndice). Nesse período, os dados considerados na análise não poderiam ter falhas. Para isso, foram excluídos da avaliação os anos de 1993, 2006 e 2007. A partir disso, foi destacado o valor de vazão máxima onde ocorreu coleta de sedimentos e comparado com os valores da série histórica de vazões (Figura 7). Esses valores foram encontrados a partir da maior cota em que ocorreu coleta de sedimentos, nesse caso 646 metros equivalente a  $Q = 400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , já a maior cota observada foi de 770 metros, equivalente a  $Q = 666 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Dessa forma, fica evidente que na construção da curva-chave ocorrerá extrapolação dos dados, visto que a  $Q$  observada foi maior que a  $Q$  medida na coleta de sedimentos. Entretanto, a faixa da curva extrapolada será pequena, não interferindo significativamente na análise dos dados.

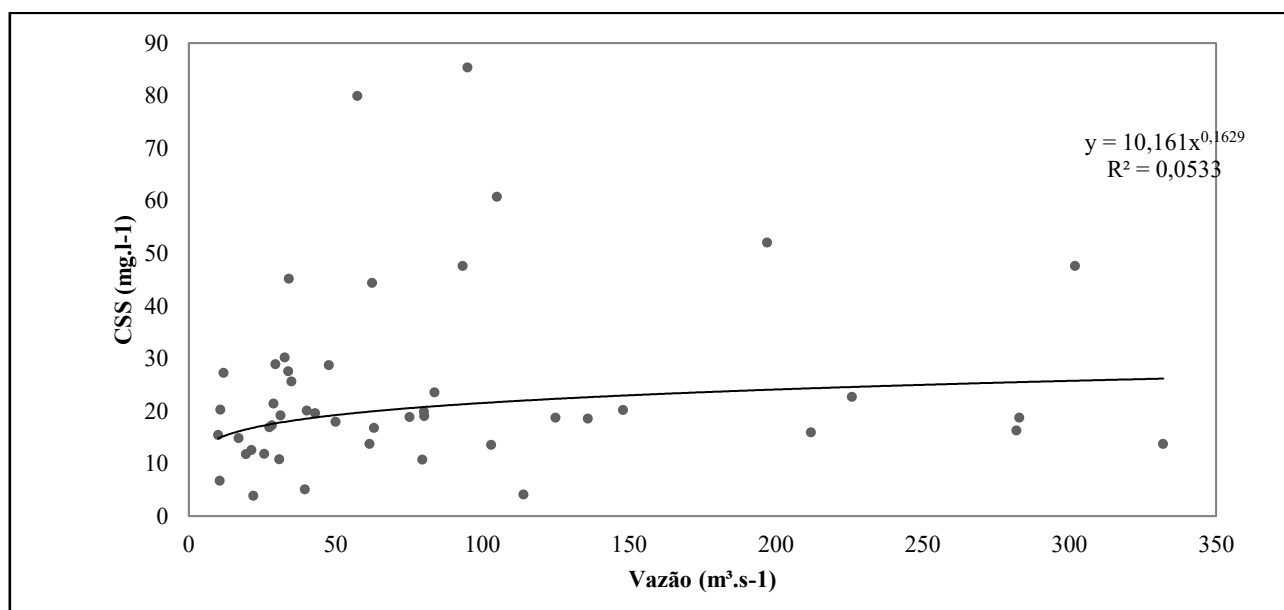
Figura 7 - Comparação dados:  $Q_{m\acute{a}x}$  medido na coleta de sedimentos e  $Q$  observados

### 3.2 Determinação da curva-chave de sedimentos

A Figura 8 mostra que a relação entre as variáveis não apresentou bom coeficiente de determinação, isto porque as medições apresentam valores distintos de  $CSS$ , ou seja, não seguem um padrão. Por outro lado, quando comparado com a descarga sólida, o comportamento da  $Q$  versus  $Q_{st}$  foi mais representativo (Figuras 9 e 10). Isso se deve ao fato de ser relacionado uma variável ( $Q$ ) obtida por meio dela mesmo ( $Q_{st} = f(Q, CSS)$ ), o que tende a aumentar a dependência entre as variáveis.

Desta maneira, optou-se por, além de realizar a construção da curva utilizando o método da regressão, realizar um ajuste utilizando o solver do Excel.

Figura 8 - Relação entre Q e CSS

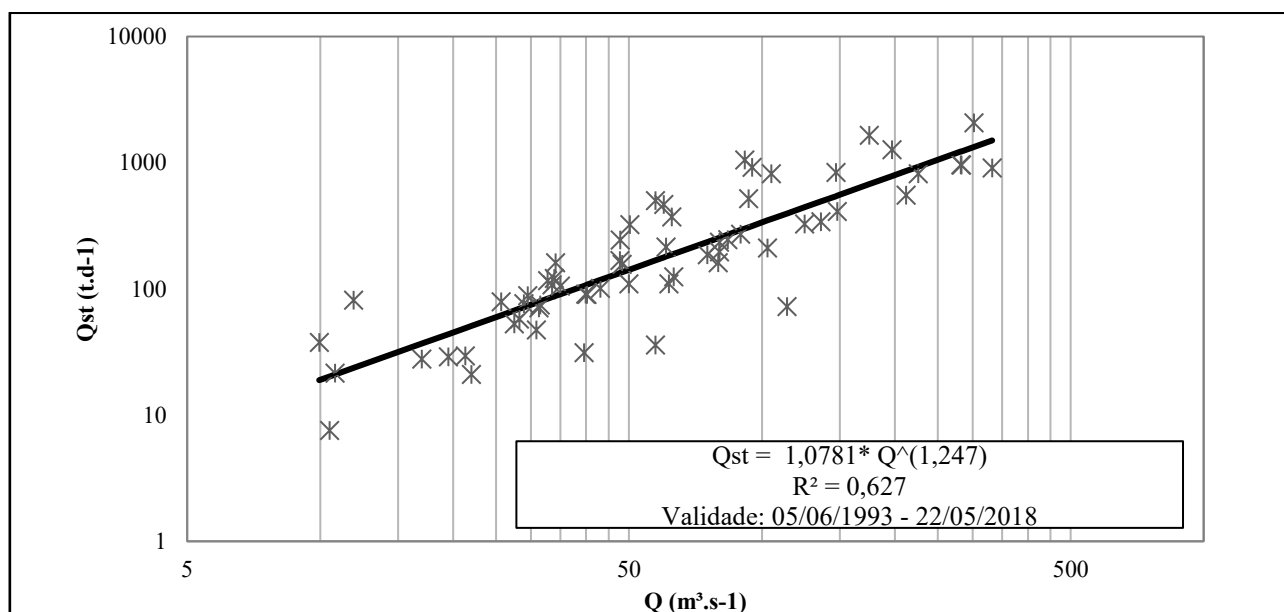


### 3.3 Curva-chave de sedimentos com tramo único

A curva-chave de sedimentos calculada pelo método da regressão está demonstrada na equação 10. A representação pode ser visualizada na Figura 9.

$$Q_{st} = 1,0781 \cdot Q^{1,247} \quad (10)$$

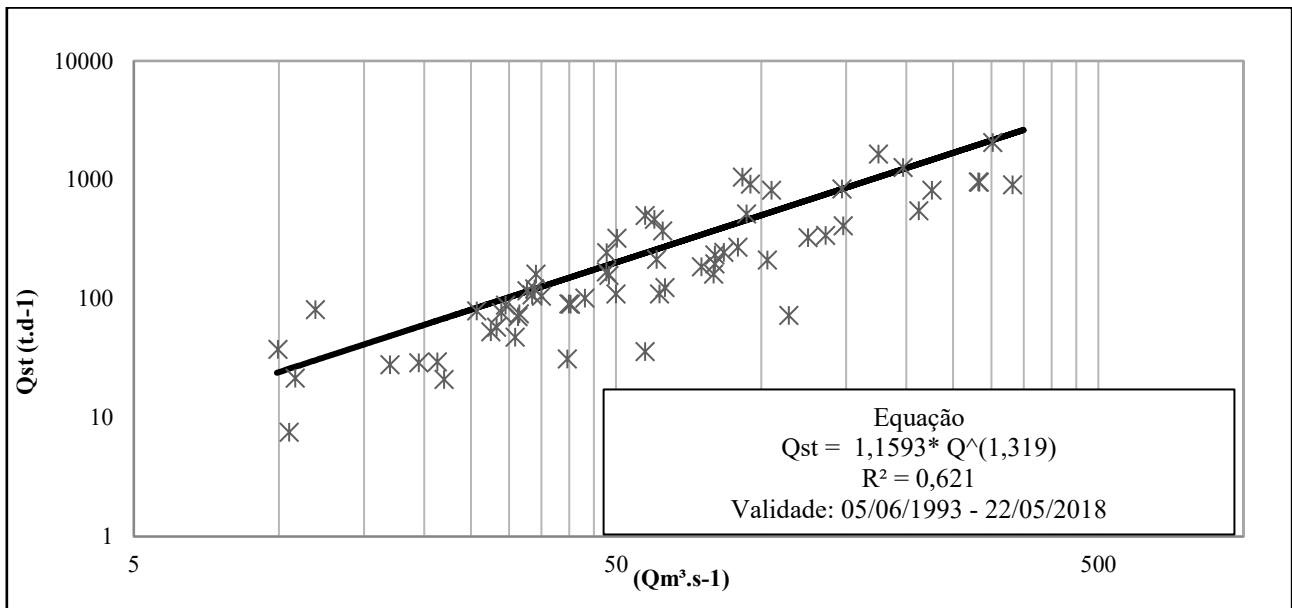
Figura 9 - Curva-chave de sedimentos pelo método da regressão



Já com a utilização e ajuste do solver a curva-chave encontrada é representada pela equação 11, demonstrada na Figura 10.

$$Q_{st} = 1,1593. Q^{1,319} \quad (11)$$

Figura 10 - Curva-chave de sedimentos com ajuste do solver



### 3.4 Curva-chave de sedimentos com dois tramos

Após análise visual dos dados, verificou-se que os dados até 2009 apresentavam um comportamento distinto do observado aos dados de 2010 à 2018 (Figura 11).

A curva encontrada utilizando a regressão linear para os dois períodos está representada pelas equações 12 e 13.

$$Q_{st} = 0,9139. Q^{1,230} \text{ período de 1994-2009} \quad (12)$$

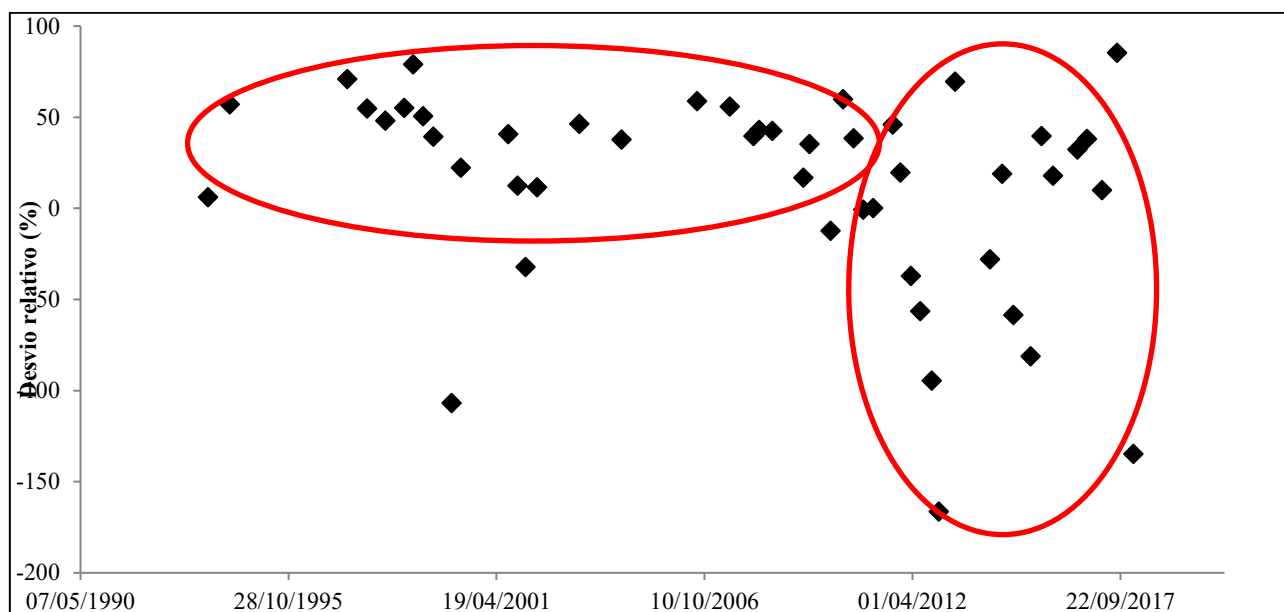
$$Q_{st} = 1,0595. Q^{1,326} \text{ período de 2010-2017} \quad (13)$$

a curva com ajuste do solver Equações 14 e 15

$$Q_{st} = 1,9533. Q^{1,093} \text{ período de 1994-2009} \quad (14)$$

$$Q_{st} = 2,4246. Q^{1,195} \text{ período de 2010-2017} \quad (15)$$

Figura 11 - Comportamentos distintos dos dados entre 2009 e 2010



Dessa forma, com a separação, foi realizada a construção de duas curvas para cada período, considerando o método da regressão (CARVALHO, 2008) e o ajuste utilizando o solver, do gerenciador de planilhas da Microsoft (Excel). Na Figura 12 é apresentado as duas curvas encontradas para período de 1993-2009. Já na Figura 13, para o período de 2010-2018.

Figura 12 - Curva-chave de sedimentos 1993-2009

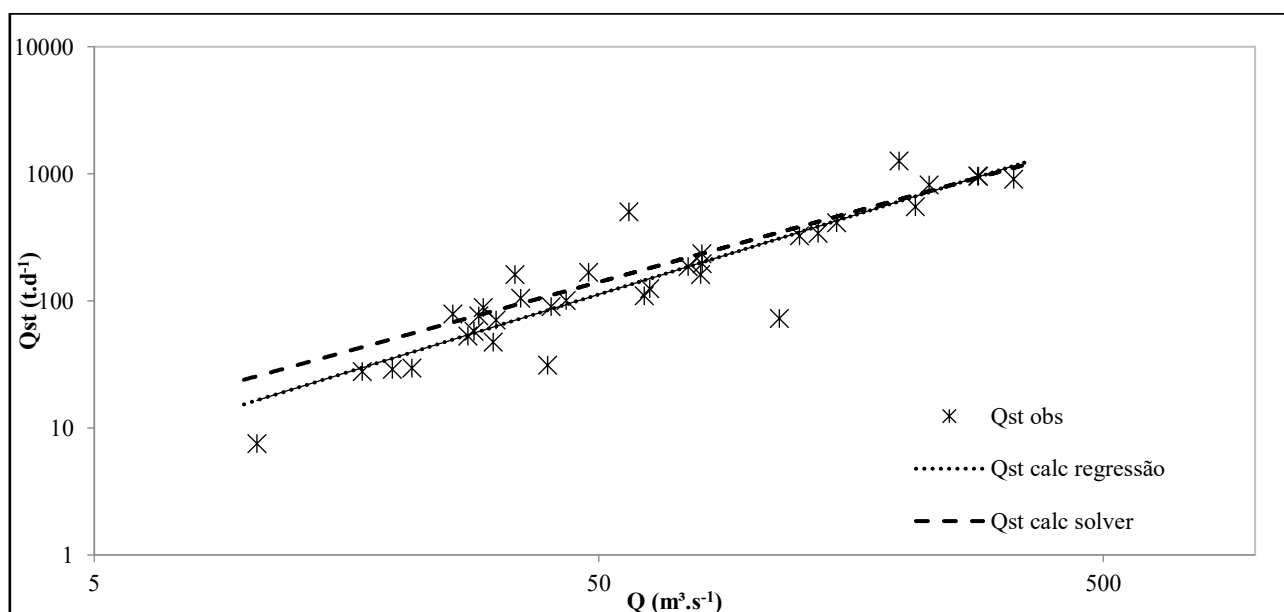
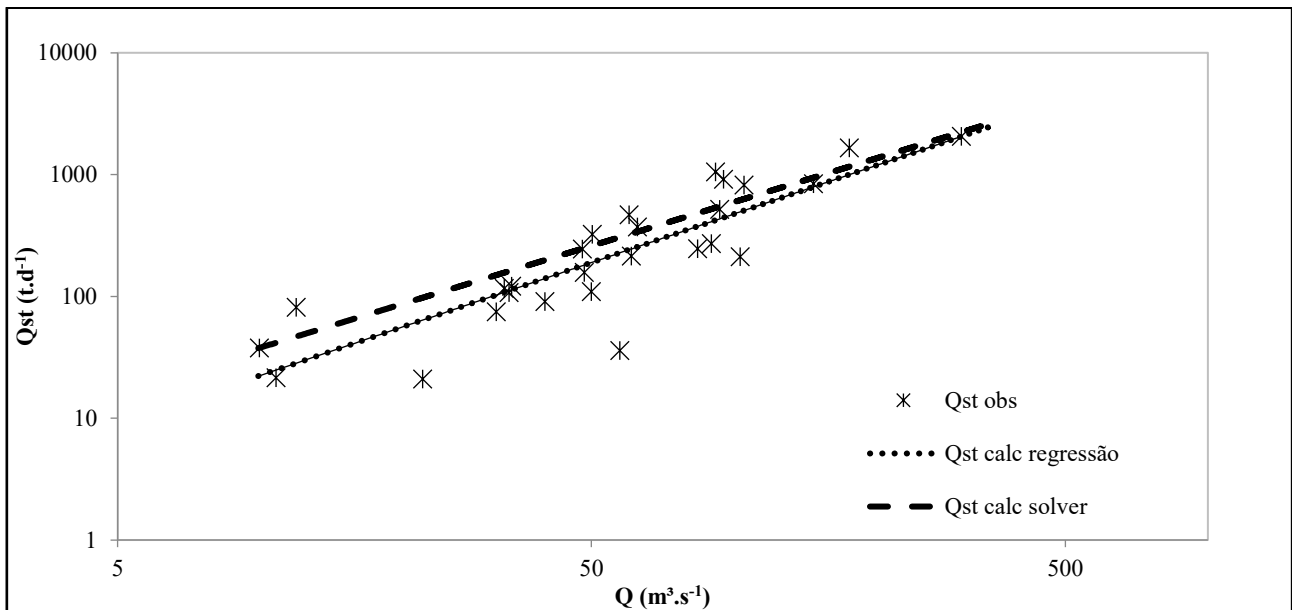


Figura 13 - Curva-chave de sedimentos 2010-2018

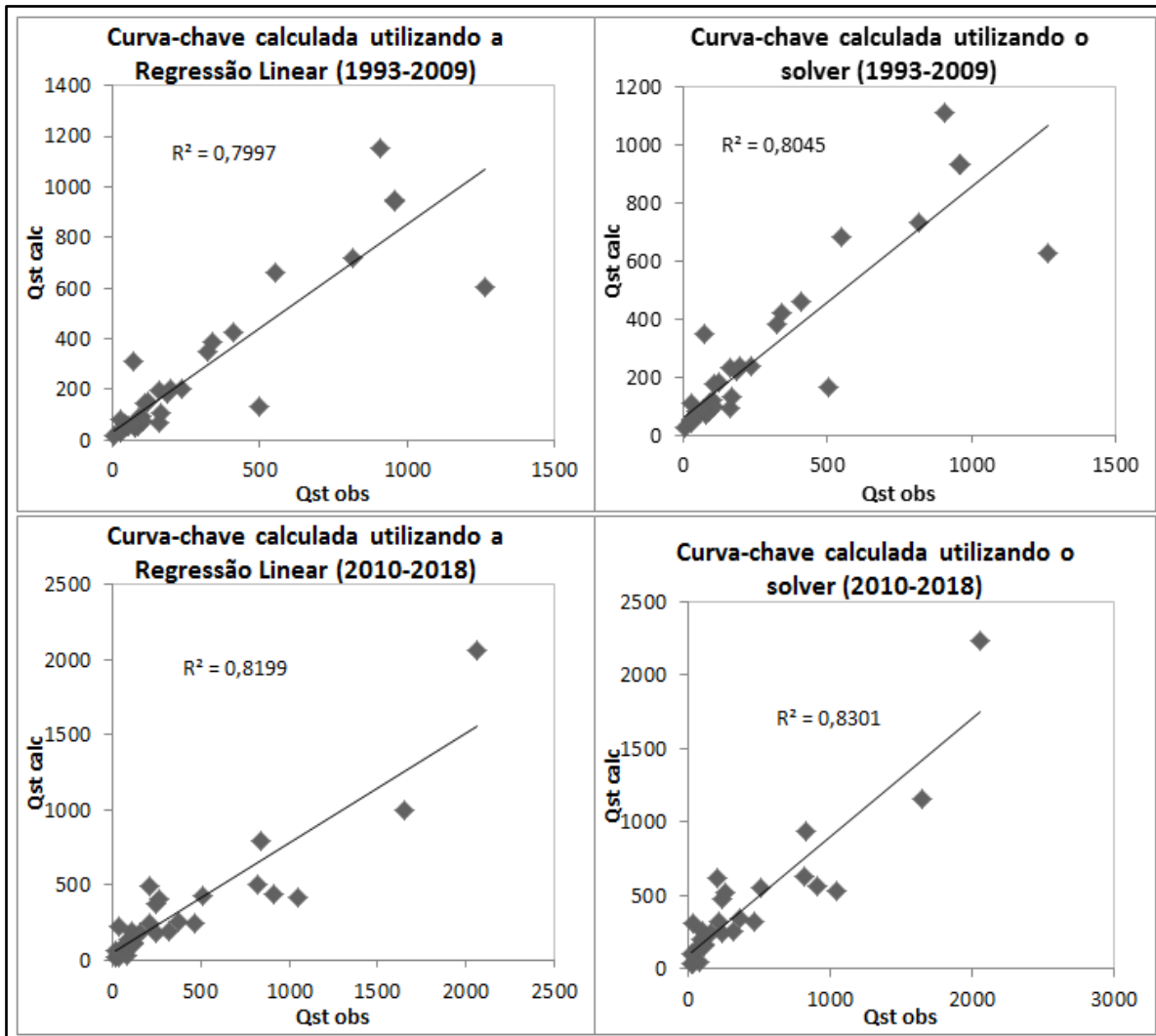


É importante destacar a semelhança nos valores de  $R^2$  (Figuras 14) encontrado para as duas curvas, mesmo apresentando índices ( $a$  e  $n$ ) diferentes. Isso é devido ao fato do objetivo do ajuste do solver diminuir o desvio relativo entre o  $Q_{st\ obs}$  e  $Q_{st\ calc}$ .

Na Tabela 2 é apresentado o somatório do desvio padrão absoluto de 61 pontos medidos, da  $Q_{st}$  observada com a  $Q_{st}$  calculada pelos quatro diferentes métodos. O método que apresentou o menor desvio foi o que mais se aproximou da  $Q_{st}$  observada, portanto, o método que utiliza dois tramos com ajuste do solver é o mais indicado para construção da curva-chave de sedimentos e cálculo da  $PS$ .

Tabela 2 - Desvio padrão dos métodos

	Tramo único		Dois tramos	
	Regressão	Ajuste solver	Regressão	Ajuste solver
Somas dos Desvios Absolutos	3325,74	2839,23	2559,45	2275,90
Soma dos Desvios Relativos	-1226,06	997,13	-920,18	586,73
Desvio Padrão	397,23	551,42	400,32	376,40

Figura 14 -  $Q_{st} calc$  X  $Q_{st} obs$  para os período

### 3.5 Produção de sedimentos específica

De posse das equações construídas, foram calculadas as descargas sólidas anuais (produção de sedimentos anual) para a série de vazões correspondentes utilizando os dois diferentes métodos de obtenção para comparação (Figura 15).

O maior valor obtido foi para o ano de 2015 que alcançou  $106,78 \text{ t.km}^{-2}$  utilizando o ajuste do solver. Na Tabela 3, é possível observar que os eventos apresentam comportamento similar e que ocorreu variação dos valores para os diferentes métodos de obtenção.

Figura 15 - Produção de Sedimentos (1994-2017)

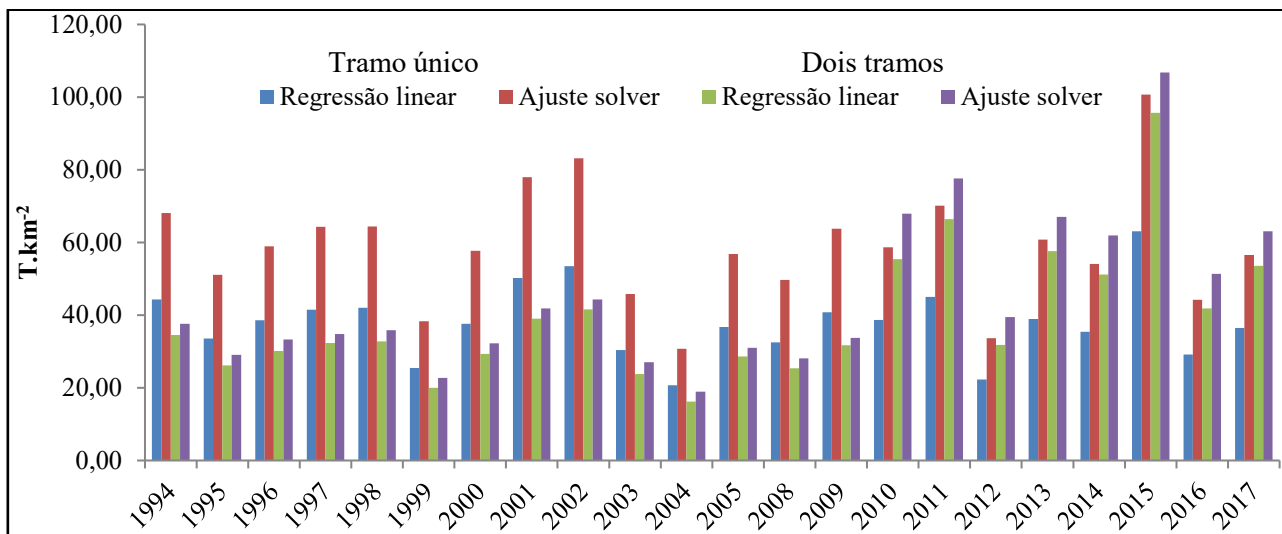


Tabela 3 - Produção de sedimentos específica anual

Ano	Tramo único		Dois tramos	
	Regressão linear	Ajuste solver	Regressão linear	Ajuste solver
	----- PS (t.(km²)⁻¹) -----			
1994	44,28	68,09	34,50	37,59
1995	33,52	51,12	26,18	29,09
1996	38,60	58,94	30,13	33,28
1997	41,52	64,35	32,30	34,76
1998	42,02	64,43	32,77	35,88
1999	25,48	38,33	19,96	22,72
2000	37,65	57,69	29,37	32,27
2001	50,20	77,93	39,04	41,85
2002	53,48	83,17	41,56	44,32
2003	30,40	45,80	23,81	27,02
2004	20,66	30,72	16,23	18,93
2005	36,75	56,82	28,61	30,99
2008	32,53	49,71	25,39	28,14
2009	40,81	63,75	31,69	33,72
2010	38,69	58,65	55,43	67,96
2011	45,03	70,13	66,45	77,65
2012	22,32	33,63	31,77	39,45
2013	38,93	60,80	57,63	67,05
2014	35,42	54,13	51,19	61,92
2015	63,04	100,70	95,66	106,78
2016	29,17	44,23	41,80	51,32
2017	36,46	56,56	53,58	63,11



Na literatura, o trabalho de Pickbrenner et al. (2006) baseou-se na comparação de dois métodos para obtenção da produção de sedimentos. Um método foi por meio da aplicação da USLE e o outro pela curva-chave de sedimentos. Os autores encontraram valor igual a  $0,19 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  utilizando a curva-chave de sedimentos com dados monitorados pela CPRM do período de 1993-2005 na estação de Linha Colombo, pertencente a bacia 86. Já para a bacia do presente estudo o valor foi de  $0,393 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , maior que a encontrada por Pickbrenner et al. (2006). Menezes e Marcuzzo (2019) citam que a curva-chave de sedimentos construída considerando a  $Q_{st}$  permite o conhecimento do comportamento sedimentológico de locais onde a coleta de amostras é dificultada, seja por questões financeiras ou de pessoal. Entretanto, o melhor ajuste da curva evita super ou subestimativas das variáveis. Outros trabalhos gerais sobre curvas-chave desenvolvido pelo setor de hidrologia do Serviço Geológico do Brasil podem ser analisados e verificados em <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/simple-search?query=curva+chave>.

Os principais fatores controladores da magnitude e da característica da produção de sedimentos são o clima, as características fisiográficas e o uso e manejo do solo (MORGAN, 2005). A influência do clima pode ser relacionada com a produção de sedimentos por meio das características da precipitação (volume, intensidade e frequência). As características da precipitação irão determinar, principalmente, a magnitude da PS. Já características morfológicas (declividade do terreno, atributos do solo, características da rede de drenagem, etc.) irão determinar a capacidade de transferência dos sedimentos pelas vertentes e rios. O efeito do uso e manejo dos solos sobre a PS tem a propriedade de atenuar ou agravar os fatores anteriores (VERSTRAETEN et al., 2006).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A curva-chave de sedimentos utilizando dois tramos temporais com ajustes do solver do Excel apresentou o menor desvio absoluto entre os dados de  $Q_{st}$  observados e  $Q_{st}$  calculados. Logo, esse conjunto de equação (Equações 6 e 7) é o mais indicado para a estação 87380000 – Campo Bom. Ainda, a produção de

sedimentos específica para essa estação foi de 0,393 t.ha<sup>-1</sup> para o período de estudo (1994-2017).

É importante destacar que a curva-chave de sedimentos apresentou uma estimativa da descarga sólida para a estação do estudo traduzindo-se nos valores de produção de sedimentos encontrados. Entretanto, esses valores são estimativos, visto que a produção de sedimentos envolve muito mais do que apenas duas variáveis - nesse caso expressa pela  $Q$  e  $CSS$ .

A intensidade da chuva, a variação temporal e o uso do solo são outras variáveis relacionadas à produção de sedimentos que interferem na ocorrência dos processos erosivos. Soma-se a isso, a declividade da bacia hidrográfica e das condições de umidade e descarga, que influenciam a quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal.

Outro problema está relacionado ao monitoramento de baixa frequência não expressar o real comportamento do fluxo de sedimentos na seção. Isso, pois o calendário pré-definido de coletas de amostras para análises de concentração de sedimentos em suspensão pode não coincidir com os eventos de chuva, os quais são responsáveis pela grande variação dos valores da produção de sedimentos.

Dessa forma, sugere-se que, para buscar a representatividade dos dados, o monitoramento seja realizado durante eventos pluviométricos. Além disso, como alternativa, a instalação de sensores ópticos ou acústicos que medem em alta frequência a turbidez (NTU), visto que vem apresentando excelente correlação com a  $CSS$  (MERTEN et al., 2014; DALBIANCO et al., 2017). Assim, as incertezas acerca dos valores encontrados serão diminuídas e contribuirá para a melhor gestão dos recursos hídricos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao setor de hidrologia ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Inventário das estações Fluviométricas**. Brasília (Brasil): Ministério do Meio Ambiente, 2017. [cited 2018 nov 28]. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 5 mar 2020.

ASSELMAN NEM. **Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine**. Hydrological Processes [Internet]. 1999 [cited 2018 nov 27]; 450:14371450. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291099-1085%28199907%2913%3A10%3C1437%3A%3AAID-HYP821%3E3.0.CO%3B2-J>. Acesso em: 5 mar 2020.

ASSELMAN NEM. Fitting and interpretation of sediment rating curves. **Journal of Hydrology** [Internet]. 2000 [cited 2018 nov 27]; 234:228-248. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169400002535>. Acesso em: 5 mar 2020.

AZEVEDO RFD. **Análise de áreas susceptíveis à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos-RS**. [dissertation]. Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto/UFRGS; 2013. 114 p. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72242/000882773.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 mar 2020.

BELLINASSO TB, PAIVA JBD Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena Bacia Hidrográfica semi-urbana de encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** [Internet]. 2007 [cited 2018 nov 28];12 (4):169-181. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/17/2287db2c92588abbbd41c518025e3fec\\_29f18ccb876737648c767e44d37f6a7b.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/17/2287db2c92588abbbd41c518025e3fec_29f18ccb876737648c767e44d37f6a7b.pdf). Acesso em: 5 mar 2020.

BRONSDON R, NADEN P. Suspended sediment in the Rivers Tweed and Teviot. **The Science of the total environment** [Internet]. 2000 [cited 2018 nov 28]; 251/252:95-113. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969700004046>. Acesso em: 5 mar 2020.

BUSSI G, DADSON SJ, BOWES MJ, WHITEHEAD PG. Seasonal and interannual changes in sediment transport identified through sediment rating curves. **Journal of Hydrologic Engineering** [Internet]. 2016. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001466>. Acesso em: 5 mar 2020.

CARDOSO AT. **Estudo hidrossedimentológico em três Baías embutidas no município de Rio Negrinho-SC**. [dissertation]. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/UFSC.;2013. 101 p. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107007>. Acesso em: 5 mar 2020.

CARVALHO NO. **Hidrossedimentologia prática**. São Paulo: Interciência, 2008.

DALBIANCO L, RAMON R, BARROS, CAP, MINELLA JPG, MERTEN GH, DIDONÉ EJ. Estratégias de amostragem para estimar a concentração de sedimentos em suspensão para a calibração do turbidímetro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [Internet]. 2017. [cited 2018 nov 28] ; 21(2):p.884-889. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v21n12/1415-4366-rbeaa-21-12-0884.pdf>. Acesso em: 5 mar 2020.

DOS SANTOS HG, CARVALHO JUNIOR WD; DART RDO, ÁGLIO MLD, DE SOUSA JS, PARES JG, DE OLIVEIRA AP. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos-Documentos** (INFOTECA-E). [Internet]. 2011. [cited 2018 dez 06]; Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/920267>. Acesso em: 5 mar 2020.

FINLAYSON BL. Field calibration of a recording turbidity meter. **Catena** [Internet]. 1985. [cited 2018 nov 28];12(23):141-147. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816285800138>. Acesso em: 5 mar 2020.

GLYSSON GD. Sediment-transport curves. **US Geological Survey**, 1987. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/1987/0218/report.pdf>. Acesso em: 5 mar 2020.

GOODWIN T, YOUNG AR, HOLMES MGR, OLD GH, LEEKS JL, PACKMAN JC, SMITH PG. The temporal and spatial variability of sediment transport and yields within the Bradford Beck catchment, West Yorkshire. **The Science of The Total Environment** [Internet]. 2003. [cited 2018 nov 28]; 314/316:475-494. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896970300069X>. Acesso em: 5 mar 2020.

GOOGLE EARTH. **Localização da estação fluviométrica 87380000**. 2018. [cited 2018 nov 28] Disponível em: <https://earth.app.goo.gl/KszSV5>. Acesso em: 5 mar 2020.

GUIMARÃES GM, FINCK JS, MARCUZZO, FFN. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na Bacia Hidrográfica do Atlântico-trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** [Internet]. 2017. [cited 2018 nov 28]; 3(3):276-300. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/18953/1/11392-44760-1-PB.pdf>. Acesso em: 5 mar 2020.

HUANG MYF, MONTGOMERY DR. Altered regional sediment transport regime after a large typhoon, southern, Taiwan. **Geology** [Internet]. 2013. [cited 2018 nov 28] 41:1223-1226. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/articleabstract/41/12/1223/131087/altered-regional-sediment-transport-regime-after-a?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 5 mar 2020.

KIRCHNER JW, FENG X, NEAL C, ROBSON A J. The fine structure of water-quality dynamics: The (high-frequency) wave of the future. **Hydrol. Process.**, [Internet]. 2004. [cited 2018 nov 28]; 18(7): 1353-1359. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hyp.5537>. Acesso em: 28 nov 18.

MARCUZZO FFN. Modelagem hidrológica utilizando regressão: conceituação matemática, logaritmização e avaliação. In: Anais do 12th Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2014, Porto Alegre, Brasil. [cited 2018 nov 27] Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17447>. Acesso em: 5 mar 2020.

MARCUZZO FFN. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: Anais do 22th Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017, Florianópolis, Brasil. [cited 2018 nov 27] Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492>. Acesso em: 5 mar 2020.

MARCUZZO FFN. Mapas e opções de divisão territorial do Estado do Rio Grande do Sul por Bacias Hidrográficas. In: Anais do 49th Congresso Brasileiro de Geologia. 2018, Rio de Janeiro, Brasil. [cited 2018 nov 27] Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19906>. Acesso em: 5 mar 2020.

MENEZES, D, MARCUZZO, FFN. Curva-chave de sedimentos com tramos separados por vazão e tempo: elementos do traçado e ajuste. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais** [...] Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21583>. Acesso em 31 mai. 2020.

MERTEN GH, CAPEL PD, MINELLA JPG. Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. **Journal of Soils and Sediments**. [Internet]. 2014. [cited 2018 nov 28]; 14(7): 1235-1241. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11368-013-0813-0>. Acesso em: 5 mar 2020.

MINELLA JPG, MERTEN GH. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural** [Internet]. 2011. [cited 2018 nov 28]; 41(3): 424-432. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n3/a879cr3315.pdf>. Acesso em: 5 mar 2020.

MORGAN RPC. Soil erosion and conservation. 3.ed. **Malden**: Blackwell, 2005. 304p.

PICKBRENNER K, PEDROLLO MCR, MERTEN GH. Comparativo entre diferentes metodologias de estimativa da produção de sedimentos: caso da Bacia Hidrográfica de linha Colombo - RS. In: Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. 2006, Porto Alegre, Brasil.

PINTO EJA, AZAMBUJA MAS, FARIAS JAM, SALGUEIRO JPB, PICKBRENNER K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM. [Internet]. 2011. [cited 2018 dez 05]. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 5 mar 2020.

REID I, BARTHURST JC, CARLING PA, WALLING DE, WEBB B. **Sediment Erosion, Transport and Deposition**. In: Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. [Internet] New York: John Wiley & Sons, p. 95-135. 1997. [cited 2018 nov 28] Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305650945\\_Sediment\\_erosion\\_transport\\_and\\_deposition](https://www.researchgate.net/publication/305650945_Sediment_erosion_transport_and_deposition). Acesso em: 5 mar 2020.

RUBIN DM, TOPPING D.J. Quantifying the relative importance of flow regulation and grain-size regulation of suspended-sediment transport  $\alpha$  and tracking changes in grain size of bed sediment  $\beta$ . **Water Resources Research** [Internet]. 2001. [cited 2018 nov 28]; 37:133–146. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2000WR900250>. Acesso em: 5 mar 2020.

SYVITSKI JPM, MOREHEAD MD, BAHR DB, MULDER T. Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. **Water Resources Research** [Internet]. 2000. [cited 2018 nov 28]; 36:2747–2760. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2000WR900133>. Acesso em: 5 mar 2020.

VERSTRAETEN G, POESEN J, GILLIJNS K, GOVERS G. The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure?. **Hydrological Processes**, [Internet]. 2006. [cited 2018 nov 28]; 20(20): 4259-4267. 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hyp.6155>. Acesso em: 5 mar 2020.

WALLING DE. Suspended sediment and solute yields from a catchment prior to urbanization. In: Gregory KJ, Walling DE, editors. **Fluvial Processes in Instrumented Watersheds**, London: Inst. of Brit. Geogr; 1974. P.169–192. 1974. [cited 2018 nov 28]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169477901421>. Acesso em: 5 mar 2020.

WALLING DE. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. **Water Resources Research** [Internet] 1977. [cited 2018 nov 28]; 13(3):531–538. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/WR013i003p00531>. Acesso em: 5 mar 2020.

WANG Y, CHEN L, FU B, LÜ Y. Check dam sediments: an important indicator of the effects of environmental changes on soil erosion in the Loess Plateau in China. **Environmental monitoring and assessment** [Internet], v. 186, n. 7, p. 4275-4287, 2014. [cited 2019 abr]. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10661-014-3697-6.pdf>. Acesso em: 5 mar 2020.

WORRAL, F, HOWDEN NJK, BURT T P. Assessment of sample frequency bias and precision in fluvial flux calculations — An improved low bias estimation method. **Journal of Hydrology** [Internet] 2013. [cited 2018 nov 28]; 503:101-110. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413006434>. Acesso em: 5 mar 2020.

## Contribuições de autoria

### 1 - Danrlei de Menezes

Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

<https://orcid.org/0000-0001-5566-8786> - [d.menezes18@gmail.com](mailto:d.menezes18@gmail.com)

Contribuição: Redação do texto, conceitualização, análise dos dados, discussão do resultados, revisão e edição da redação.

### 2 - Francisco Fernando Noronha Marcuzzo

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo, USP e, atualmente, é pesquisador em Geociências na área de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB).

<http://orcid.org/0000-0002-0737-668X> - [fmarcuzzo@gmail.com](mailto:fmarcuzzo@gmail.com)

Contribuição: Redação do texto, conceitualização, análise dos dados, revisão e edição da redação.

### 3 - Marcia Conceição Rodrigues Pedrollo

Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e, atualmente, é engenheira hidróloga da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

<https://orcid.org/0000-0002-2262-0046> - [marcia.pedrollo@cprm.gov.br](mailto:marcia.pedrollo@cprm.gov.br)

Contribuição: Revisão e edição da redação.

## Como citar este artigo

MENEZES, D.; MARCUZZO, F. F. N.; PEDROLLO, M. C. R. Estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 43, e17, p. 1-31, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X37623>. Acesso em: dia, mês (abreviado), ano.