



## Determinação de Parâmetros Hidráulico-Sedimentológicos para o Rio Jundiáí, Bacia do PCJ

*Diniz Ferrarezi Neto\*, Stéphanie Caroline Pereira C. Medeiros, Luis Fernando Murillo Bermudez, André Luís Sotero Salustiano Martim*

### Resumo

Quantificar a descarga sólida de um rio é provavelmente uma das questões mais complexas da hidráulica fluvial. Os problemas que envolvem o transporte de sedimentos são diversos e suas consequências geram perdas ambientais e financeiras. Alguns exemplos são o assoreamento de reservatórios e lagos, danos às estruturas hidráulicas por abrasão, catálise e transporte de produtos químicos, além de potencializar problemas causados por patógenos, como bactérias e vírus. Tendo em vista a importância do estudo do transporte de sedimentos, a metodologia aplicada neste trabalho propôs relacionar conceitos de diferentes áreas envolvidas com a engenharia, mais especificamente hidráulica fluvial, técnicas de coleta de dados hidrométricos e topográficos. O objetivo deste trabalho é a determinação de parâmetros hidráulico-sedimentológicos de rios, visando sua aplicação em métodos indiretos de quantificação da vazão sólida. A pesquisa foi realizada em uma seção transversal do rio Jundiáí, localizado em Campo Limpo Paulista, Estado de São Paulo.

### Palavras-Chave:

Transporte de sedimentos, Parâmetros hidráulicos, Rio Jundiáí.

### Introdução

O transporte fluvial de sedimentos, como é apontado por Van Rijn (2007) e Garcia (2008), é resultado da interação complexa de diversos fatores tanto naturais como antrópicos, entre eles, fatores hidrometeorológicos, topográficos, geológicos, da cobertura do solo e das próprias características hidráulicas do copo d'água. De acordo com Carvalho et al. (2000) a erosão responsável pela geração das partículas sólidas, o transporte e deposição das mesmas, compõe um processo natural, porém, os sedimentos interferem na qualidade da água e em sua possibilidade de utilização. O consumo humano, industrial e energético é afetado, e em diversos casos a própria vida aquática.

Alguns problemas relacionados ao tema são descritos por Carvalho et al. (2000) e Poletto (2008), como assoreamento, danos em estruturas hidráulicas através da abrasão, atuação dos sedimentos como catalizadores e carreadores de poluentes, além da proliferação de bactérias e vírus.

Carvalho (2008) expõe que quantificar a vazão sólida de um rio é um dos problemas mais complexos da hidráulica fluvial. Um meio de enfrentar essa dificuldade é a utilização de técnicas de medição indireta, que consistem em realizar amostragens de água e sedimentos misturados, quantificando o transporte através cálculos posteriores aos trabalhos de campo. O autor apresenta uma série métodos voltados à quantificação indireta, porém, todos possuem a necessidade de receber como dados de entrada alguns parâmetros hidráulico-sedimentológicos, ou seja, a determinação destes é indispensável nesse tipo de abordagem.

Este trabalho buscou a determinação de parâmetros hidráulico-sedimentológicos para escoamentos fluviais (área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, profundidade média, largura da seção do canal, declividade da linha de energia, velocidade do escoamento e coeficiente de rugosidade de Manning) visando a aplicação destes em métodos indiretos de quantificação da vazão sólida, tomando como estudo de caso uma seção transversal do rio Jundiáí em Campo Limpo Paulista, Estado de São Paulo.



## **Materiais e métodos**

A seção de estudo deste trabalho está localizada na parte alta da bacia hidrográfica do rio Jundiá, que faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI N°5/PCJ). Ela se encontra à montante de uma estação de tratamento de água, sob uma passarela de pedestres, cujas coordenadas são 23°12'29.1"S 46°45'59.2"W.

A metodologia empregada conciliou conceitos de diferentes áreas relacionadas a engenharia, mais especificamente planimetria e taqueometria, encontradas respectivamente em Silva e Segantini (2015) e Borges (1977), hidrometria, com as orientações de trabalho em campo extraídas de Santos et al. (2001), além da hidráulica fluvial, ao se aplicar as hipóteses e propriedades de um escoamento tido como uniforme, disponíveis em Porto (2006) e Morris e Fan (1998).

Os conceitos e equipamentos topográficos alocados foram usados na obtenção da declividade da linha d'água, que devido a hipótese de uniformidade do escoamento, possui a mesma inclinação da linha de energia. O método consiste em adotar um sistema de coordenadas relativo com origem próxima a seção transversal. Na origem instalou-se um teodolito, e a partir do mesmo foi realizado uma série de visadas, cujos pontos levantados situam-se ao longo da margem do rio, tanto à montante quanto à jusante da seção de estudo, sendo que um dos pontos levantados deve estar localizado junto à seção transversal. A relação entre o desnível vertical e a distância horizontal, aplicada entre o ponto localizado na seção e os demais resulta em uma série de declividades, sendo a média destes a adotada.

Quanto a hidrometria, foi adotado o Método da Seção Média para estimar a área molhada e a vazão da seção transversal, que se baseia na divisão da seção em áreas parciais, sendo que a soma das mesmas resulta na estimativa total. O mesmo princípio se aplica à vazão, determinada pela soma dos produtos entre as áreas parciais as médias das velocidades das verticais de imersão do molinete que as compõe. Sendo assim, o método necessita que a velocidade do escoamento seja estimada ao longo da seção transversal, de uma margem a outra a cada meio metro.

Aproveitando-se das imersões do molinete, foi estimado o perímetro molhado da seção. Para isso foi adotado novamente um sistema de coordenadas relativo, com origem na margem junto à seção transversal. Levando em conta os pontos onde as verticais de imersão coincidem com o leito e o espaçamento entre as mesmas, determina-se incrementos de perímetro através da distância entre os pontos, sendo que a somatória dos incrementos fornece o perímetro molhado total.

A largura da seção transversal é obtida diretamente com o auxílio de uma trena. A partir da determinação dos parâmetros anteriores, foram estabelecidos a profundidade média, velocidade e raio hidráulico da seção transversal, usando as relações de hidráulica fluvial disponíveis em Porto (2006).

O coeficiente de rugosidade de Manning foi estimado de duas formas. A primeira foi a partir da equação de Manning disposta em Porto (2006), Morris e Fan (1998), Baptista e Lara (2010), tomando como entrada os parâmetros calculados anteriormente. O Método de Cowan encontrado em Chow (1959) e Morris e Fan (1998) foi o segundo meio utilizado. Este considera o canal estável e, é baseado no uso de 6 parâmetros com valores tabelados para determinar o coeficiente de rugosidade.

## **Resultados e Discussão**

Com exceção do método de Cowan, a metodologia apresentada foi aplicada em cada visita de campo. A partir dos dados coletados foram calculados os distintos parâmetros hidráulicos necessários para o projeto. Os trabalhos de campo, ainda que contando com poucas visitas, devido às limitações proporcionadas pela pandemia de COVID-19, foram suficientes para atingir os objetivos. A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados após analisar dados coletados.



Tabela 1: Parâmetros hidráulico-sedimentológicos determinados. Fonte: Autoria própria.

Data da Coleta	Declividade [m/m]	Área Molhada [m <sup>2</sup> ]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Perímetro molhado [m]	Largura [m]	Profundidade média [m]	Velocidade média [m/s]	Raio hidráulico [m]	Rugosidade de Manning
01/10/2019	0,0003218	8,048	0,871	9,166	7,734	1,041	0,108	0,878	0,151905
24/10/2019	0,0003920	6,655	0,576	7,771	6,157	1,081	0,087	0,856	0,206285
12/11/2019	0,0002687	6,480	0,723	7,133	5,350	1,211	0,112	0,909	0,137879
27/11/2019	0,0002869	6,198	0,611	7,622	5,076	1,221	0,099	0,813	0,149794
12/12/2019	0,0007689	8,913	1,525	9,866	8,472	1,087	0,171	0,903	0,151421
16/01/2020	0,0007040	7,992	1,330	8,754	7,300	1,095	0,166	0,913	0,150053

A partir das características do trecho que contém a seção transversal de estudado, o coeficiente de Manning foi estimado pelo Método de Cowan em 0,148. A Tabela 2 apresenta o resultado obtido e os valores adotados no procedimento.

Stéphanie Medeiros (coautora), realizou uma pesquisa de forma simultânea a esta na mesma seção transversal, sendo que seus resultados avaliaram o diâmetro médio ( $d_{50}$ ) do material do leito em 0,6 mm, determinado a partir de curvas granulométricas de três amostragens. Essa determinação permitiu relacionar os valores tabelados por Phillips e Tadayon (2006), definindo um coeficiente de rugosidade base ( $n_0$ ) de 0,023, usado na aplicação do método de Cowan.

Tabela 2: Coeficiente de Rugosidade de Manning determinado pelo Método de Cowan. Fonte: Autoria própria.

Parâmetro	$n_0$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$m_5$	$n$
Valor adotado	0,023	0,010	0,005	0,010	0,100	1,000	0,148

Com a realização da pesquisa envolvendo a seção do rio Jundiá em Campo Limpo Paulista, ficou evidente que nem todos os trabalhos relacionados com essa temática possuem recursos que viabilizem visitas frequentes ao local de estudo, empecilho proporcionado principalmente pelo longo percurso que pode ser necessário percorrer para chegar até a seção de interesse.

Em relação a seção estudada, a maneira encontrada para sanar este problema foi relacionar os parâmetros apresentados anteriormente com a vazão. O Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo (SAISP) mensura a vazão do rio Jundiá a cada 10 minutos, além de que o acesso a esses dados é livre. Sendo assim, é possível acessar um vasto banco de dados e obter a vazão para qualquer data e horário que se tenha interesse. Como não existem contribuições de vazão no percurso entre a estação do SAISP e a seção transversal de estudo, as vazões podem ser utilizadas.

As Figuras 1 à 6 apresentam uma série de curvas que relacionam a vazão com alguns dos parâmetros hidráulico-sedimentológicos da seção, mais especificamente área molhada, perímetro molhado, largura da seção, raio hidráulico, velocidade média do escoamento e profundidade média, obtidos a partir de um levantamento topográfico da forma da seção transversal.

Em relação ao coeficiente de rugosidade, foi adotado como sendo constante e igual a 0,15 para toda a faixa de vazões. Sabe-se que na realidade trata-se de um parâmetro variável ao longo da seção, porém, a variação apresentada nos dados coletados em campo foi muito pequena, além disso, é apresentado por Porto (2006) que o valor de 0,15 é adotado para rios com margens espraiadas com muita vegetação e más condições de conservação. Os resultados apontam para esse valor e de fato, a descrição apresentada na bibliografia se encaixa com as encontradas em campo, justificando a adoção de um valor fixo para a composição das curvas.

Ao contrário do coeficiente de rugosidade, a declividade da linha d'água apresentou uma variação expressiva a cada coleta. Esse mesmo fenômeno também foi observado no trabalho de Hora (1996), evidenciando que não é possível aplicar um valor fixo e garantir a qualidade dos outros.



Com as coletas, foi constatado que todos os valores de declividade estão contidos dentro do intervalo 0,00025 – 0,0008 m/m. Desse modo, para cada relação de vazão com algum parâmetro hidráulico-sedimentológico foram construídas 3 curvas, adotando os valores 0,00025 m/m, 0,000525 m/m e 0,0008 m/m. Os resultados da Tabela 1 indicam que as declividades mais elevadas resultam em vazões elevadas, dando indícios de que a região entre as curvas de 0,00025 m/m e 0,000525 m/m é mais confiável para vazões inferiores à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a região entre as curvas 0,000525 m/m e 0,0008 m/m é mais adequada para vazões superiores à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

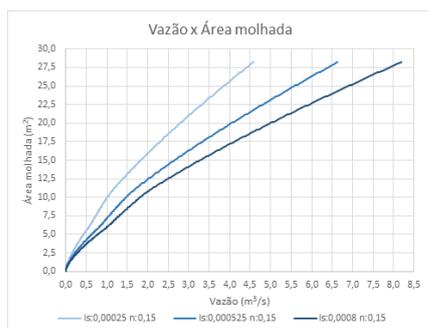


Figura 1: Relação entre vazão e área molhada. Fonte: Autoria própria.

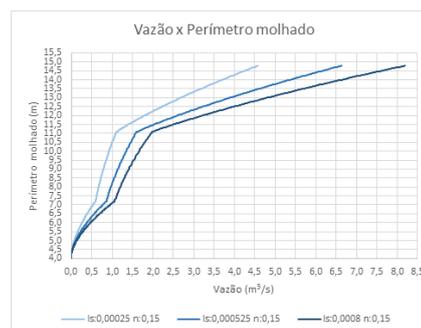


Figura 2: Relação entre vazão e perímetro molhado. Fonte: Autoria própria.

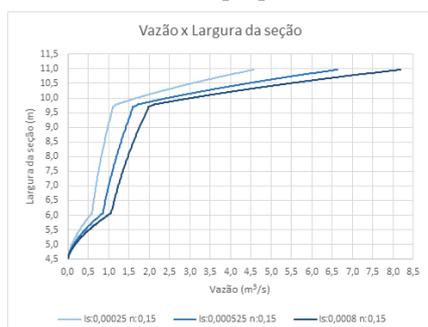


Figura 3: Relação entre vazão e largura da seção. Fonte: Autoria própria.

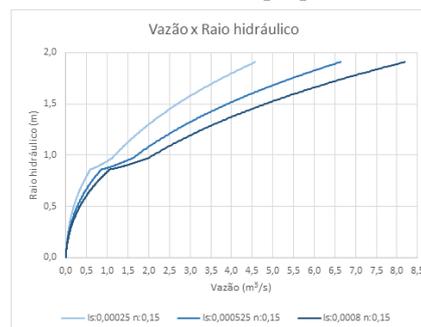


Figura 4: Relação entre vazão e raio hidráulico. Fonte: Autoria própria.

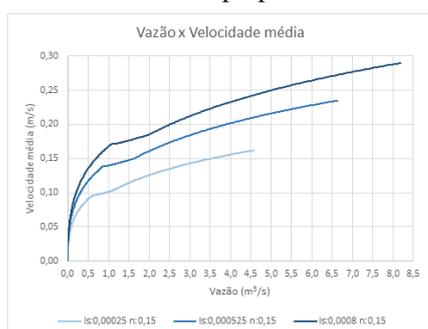


Figura 5: Relação entre vazão e velocidade média. Fonte: Autoria própria.

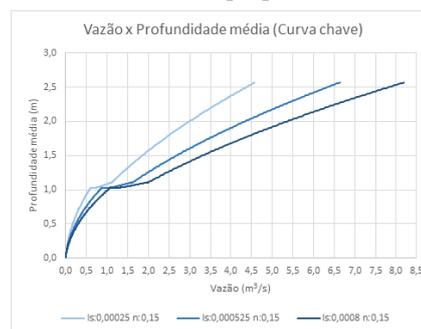


Figura 6: Relação entre vazão e profundidade média. Fonte: Autoria própria.

## Conclusões

Conclui-se que o objetivo da pesquisa foi alcançado, uma vez que a partir da utilização de métodos procedimentais simples de campo para a coleta de dados obteve-se a determinação dos diferentes parâmetros hidráulico-sedimentológicos para a seção em estudo, tendo em vista a coerência entre os resultados obtidos e a compatibilidade entre os campos de estudo relacionados, este procedimento de conciliar as técnicas de coleta de dados da hidrometria e topografia para determinar os parâmetros da seção, pode ser plausível de aplicação em locais com indisponibilidade de dados.



Trata-se de aspecto relevante, uma vez que gera a possibilidade de avaliar a vazão sólida de um rio através de métodos indiretos baseando-se em dados medidos propriamente em campo como o gradiente de energia e o coeficiente de rugosidade, reduzindo a necessidade de campanhas de campo e favorecendo a redução de incertezas, devido ao fato de que muitas vezes estas avaliações são feitas a partir de estimativas empíricas que conseqüentemente possuem maiores erros inerentes.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de IC e ao Programa PIBIC/UNICAMP pelo apoio à realização da pesquisa. Agradecimento especial para todos os professores, técnicos, familiares e amigos que prestaram apoio logístico para a realização do trabalho.

### **Bibliografia**

- BAPTISTA, M. B.; LARA, M. M. L. (2010). *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. 3 ed. UFMG, Belo Horizonte, MG, 473 p.
- BORGES, A. C. (1977). *Topografia Aplicada à Engenharia Civil*, Vol. 1. 2. ed. Edgard Blucher, São Paulo/SP, 212 p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA Júnior, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. (2000). *Guia de Práticas Sedimentométricas*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília/DF, 103p.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2. ed. Interciência, Rio de Janeiro/RJ, 321 p.
- CHOW, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Co. New York, 680 p.
- HORA, M. A. G. M. da. (1996). “Avaliação do Transporte de Sólidos na Sub-Bacia do Ribeirão do Rato, Região Noroeste do Estado do Paraná”. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- MORRIS, G. L.; FAN, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- PHILLIPS, J. V.; TADAYON, S., (2006). *Selection of Manning’s roughness coefficient for natural and constructed vegetated and non-vegetated channels, and vegetation maintenance plan guidelines for vegetated channels in central Arizona: Investigations Report 2006–5108*. U.S. Geological Survey Scientific, Reston, 41 p.
- POLETO, C. (Org.). (2008). *Ambiente e Sedimentos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre/RS, 404 p.
- PORTO, R. M. (2006). *Hidráulica básica*. 4. ed. EESC, São Carlos/SP, 519 p.
- SILVA, I.; SEGANTINI, P. C. L. (2015). *Topografia para engenharia: Teoria e prática de geomática*. 1. ed. Elsevier, Rio de Janeiro/RJ, 432 pp.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria aplicada*. Instituto de tecnologia para o desenvolvimento, Curitiba/PR, 372p.
- VAN RIJN, L. C. (2007). *Manual sediment transport measurements in rivers, estuaries and coastal seas*. Aquapublications, The Netherlands. 500 p.