

DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITE APLICADOS A AMBIENTES FLUVIAIS: APLICAÇÃO PARA ESTUDOS ACERCA DA RECUPERAÇÃO DO RIO DOCEJoão Vitor Pimenta¹ (IC), Arcilan Trevenzoli Assireu (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá**Palavras-chave:** derivadores rastreados por satélite, GPS, telemetria, convergência do escoamento, Rio Doce. de convergência, e é apresentado para novos públicos.**Introdução**

As zonas de confluência de rios possuem elevada heterogeneidade no transporte de sedimentos, no fluxo e qualidade de água [1,2]. Portanto, são zonas estratégicas no estudo da morfologia, ecologia, qualidade de água e inundações [3,4]. Com o uso já conhecido na oceanografia [5,6], mais recentemente os derivadores vêm sendo amplamente utilizados também para estudos em rios [7]. Com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, novos instrumentos foram sendo desenvolvidos e aprimorados nos estudos fluviais, sendo divididos principalmente em Eulerianos e Lagrangianos, melhorando assim sua resolução espacial e temporal e abrindo novas possibilidades para medições fluviais. Neste contexto, as medições Eulerianas consistem em instrumentos ancorados em pontos fixos do rio. Já em medições Lagrangianas, como os derivadores, são medições em que o instrumento acompanha o fluido, fazendo com que as medidas sejam propriedades obtidas continuamente ao longo do corpo hídrico [8]. Esse tipo de medição utilizado em zonas de confluência é de fundamental importância para o estudo no transporte de sedimentos, principalmente para mapear depósitos de sedimentação e usar essa informação para a gestão de recursos hídricos, informação essa que ganha novas dimensões se tratando de um ambiente extremamente modificado antropicamente, como o Rio Doce. Estes derivadores possuem receptores GNSS e, junto com um sistema GPRS, transmitem em tempo real sua posição, possibilitando o resgate do equipamento no final do experimento, diferente dos derivadores utilizados em oceanografia. Este trabalho tem como objetivo mostrar o desempenho do derivador como instrumento para medições no estudo da hidrodinâmica fluvial e comparar medidas simultâneas realizadas por um ADCP e por um derivador, além de demonstrar exemplos de usos do derivador fluvial para a restauração do Rio Doce [8].

Este trabalho é uma variação do trabalho “DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITE APLICADOS A AMBIENTES FLUVIAIS: APLICAÇÃO PARA ESTUDOS ACERCA DA RECUPERAÇÃO DO RIO DOCE” postado no Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, no ano de 2023 [8]. Neste trabalho é apresentado um novo caso em que os derivadores foram capazes de mapear zonas

Metodologia

O derivador (Fig. 1b) possui forma esférica com diâmetro de 40 cm, construído em fibra de vidro, dentro do qual vai a carga útil: bateria de Lithium 3.7V/3600 mA, com carregador externo; microcontrolador STM32F103 32-bit, Cortex-M3 core, 72 MHz, 256 Kbyte e memória serial de 8Mbytes com armazenamento de 30 K mensagens. Módulo de recepção GNSS, uBlox SAM-M8Q, 3 GNSS (GPS, Galileo, GLONASS). Módulo GSM/GPRS Modem 2G quadband SARA-G350 com comunicação UDP com o servidor, podendo ser pré-configurado com opções UDP, TCP e DNS. As mensagens são criptografadas. Há opções disponíveis para o Módulo GSM/GPRS em 3G e 4G. Quanto aos experimentos, no dia 03 de setembro de 2022 foram realizados lançamentos de 08 derivadores num setor do Rio Doce correspondente ao encontro do Rio Manhuaçu e o vertedouro da UHE de Aimorés (Fig. 1a), entre os municípios de Aimorés (MG) e Baixo-Guandu (ES). O experimento durou cerca de 01 hora e foi concomitante a medidas com ADCP (Fig. 1c) [8].

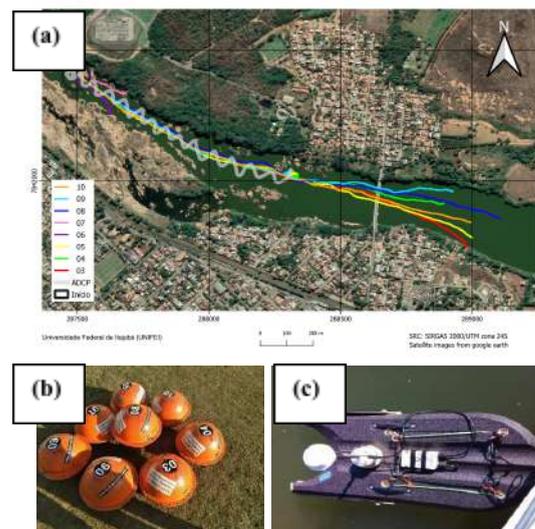


Figura 1 – Trajetórias dos 08 derivadores lançados no Rio Doce e os transectos realizados para levantamento batimétrico e de velocidade (a). Derivadores utilizados (b) e ADCP (c) [8].

Para verificar a influência de erros aleatórios provenientes do receptor de GNSS na velocidade do derivador, foram adotadas duas metodologias diferentes, a avaliação Estática e a avaliação Dinâmica baseados em [9]. Na estática, os derivadores foram posicionados em um ponto de referência, muito utilizado em estudos de geoprocessamento na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI); enquanto que na dinâmica, foram comparadas as velocidades simultâneas entre o derivador e o ADCP. Para a análise estática, foram calculadas a acurácia e a precisão das medidas, em que a precisão representa o desvio entre as medições em si, enquanto que a acurácia representa o desvio das medidas em relação ao ponto de referência. A precisão foi calculada como a área (referentes aos intervalos das posições geográficas medidas, e portanto, às velocidades) em que 95% (+/- 2 vezes o desvio padrão) das medidas são encontradas. Já nas análises dinâmicas, foram utilizados parâmetros estatísticos presentes na Tabela 1. O Coeficiente de Pearson foi calculado a partir de uma regressão linear aplicada entre as medidas de velocidade calculadas a partir dos dados do derivador e as medidas de velocidade do ADCP [8].

Estadística	Equação
Viés:	$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T2_i - T1_i)$
Erro médio quadrático:	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T2_i - T1_i)^2}$
Coeficiente de Pearson (r):	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (T1_i - \bar{T1})(T2_i - \bar{T2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T2_i - \bar{T2})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (T1_i - \bar{T1})^2}}$

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos usados para a análise dinâmica em que T1 é a velocidade calculada a partir dos dados do derivador e T2 é a velocidade obtida através do ADCP. n representa o número de dados utilizados e i representa a indexação temporal, a barra horizontal representa os valores médios [8].

Resultados e discussão

Análise Estática

A Figura 2a traz os resultados da dispersão da distância, em metros, entre as medidas realizadas pelos derivadores comparado à “posição verdadeira”. Os resultados apontaram para acurácia de 2,27 m e precisão de 1,38 m e 2,29 m para as componentes zonal e meridional, respectivamente. As incertezas no posicionamento, indicadas acima, introduzem erros na

velocidade. Para o cálculo desta estimativa, deve-se lembrar que os dados de posição são gerados em incrementos de 3s e que a velocidade é obtida a partir de médias de 1 min sobre estes dados. Como as velocidades foram calculadas pelo método da regressão simples, é válida a relação [10]: $V = 1/n \sum (\Delta X \mp \Delta E) / \Delta t$, onde n=núm. de posições consideradas; ΔX =distância entre sucessivas posições; ΔE = erro de posicionamento (~2m) e Δt o intervalo entre sucessivas posições (3s). Sendo $\Delta E = 2 \times 2m = 4 m$, porque tanto a posição final quanto a inicial possuem incerteza de 2 metros, pode-se obter o erro na velocidade $E_v = 400 / (20 \cdot 3)$, resultando em 6,7 cm/s. (Fig. 2b) [8].

Análise Dinâmica

Na análise dinâmica foi adotado um critério de máxima vizinhança com limite de 3 metros, os resultados para as métricas estatísticas foram: -0,81 cm/s para o viés, 0,91 para o coeficiente de Pearson e 8,72 cm/s para o RMSE. Ambas as medições, tanto pelo derivadores quanto pelo ADCP, mostraram a mudança de escoamento entre o ponto inicial e o ponto final (Figura 3), isso demonstra que até mesmo para setores curtos do rio, pode haver elevada heterogeneidade no escoamento, com valores variando de 90 cm/s até 10 cm/s. O motivo da desaceleração no escoamento é relacionado à posição de lançamento, que ocorre próximo ao encontro do Rio Manhuaçu com o vertedouro da Usina Hidrelétrica de Aimorés, formando uma zona de confluência e uma região que tende a acelerar o escoamento. Além disso, o trecho inicial é mais estreito do que o trecho à jusante. Conforme o escoamento percorre o trecho à jusante, é mais perceptível a influência da Usina Hidrelétrica de Mascarenhas, que se localiza à jusante da área de estudo. Portanto, os valores próximos à 10 cm/s são velocidades típicas de regiões de transição rio-reservatório, conforme demonstrado por [11] para a Usina Hidrelétrica de Itumbiara [8].

Exemplo de aplicação para estudos acerca da recuperação do Rio Doce

Os derivadores, em oceanografia, são utilizados para mapear zonas de convergência, usando essa informação para o estudo de, por exemplo, dispersão de óleo, de destroços de objetos, larvas de peixes, entre outras coisas [8]. O derivador fluvial utilizado neste trabalho também se mostrou apto a localizar zonas de convergência (Figura 4) em que são esperados depósitos de sedimentação. Foram lançados 5 derivadores em um trecho do Rio Doce, em Baixo Guandu, em que suas trajetórias coincidiram com um afloramento de banco de areia na estação seca (Figura 5).

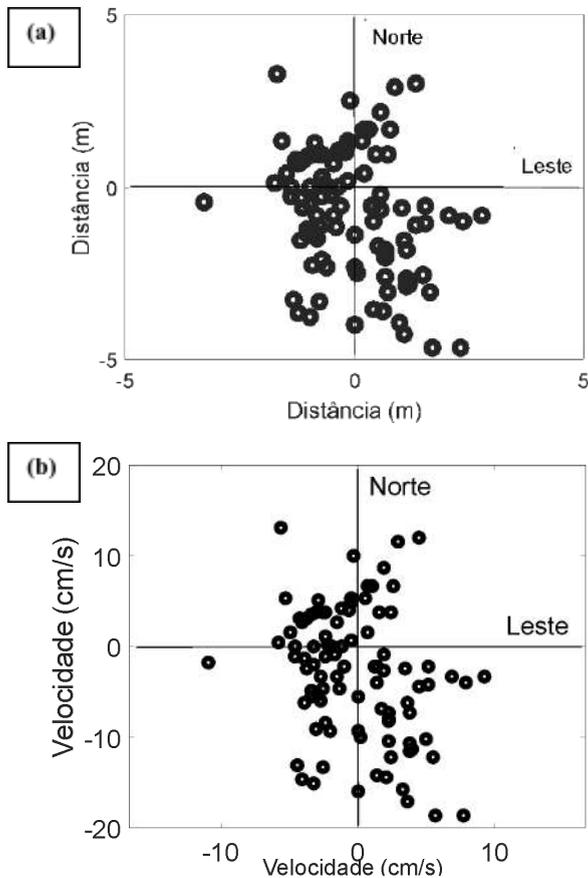


Figura 2 – Localização dos derivadores em relação a um ponto de referência (a) e respectivas “pseudo velocidades” (b) [8].

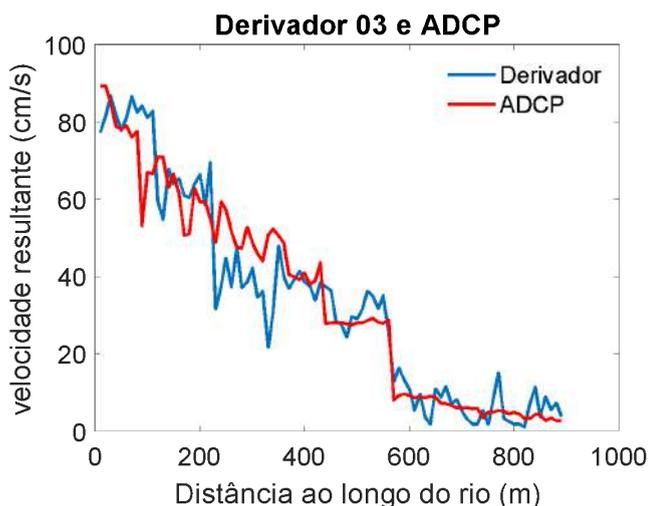


Figura 3 – Variação longitudinal da velocidade registrada pelo derivador e pelo ADCP [8].



Figura 4 – Trajetórias dos derivadores ao longo de um setor do Rio Doce indicando regiões de convergência.

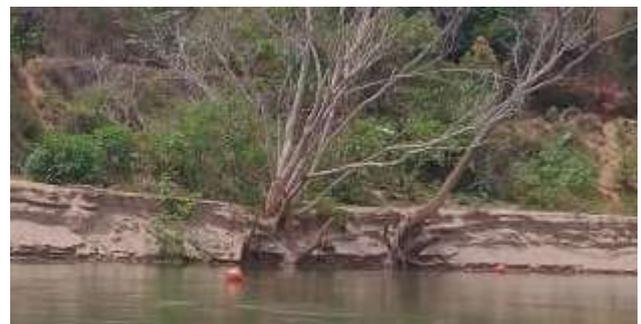


Figura 5 – Derivadores coincidindo com zonas de deposição de sedimentos.

Conclusões

Portanto, os resultados da validação dos derivadores fluviais rastreados por satélite como uma ferramenta útil no estudo de processos hidro-sedimentológicos, especialmente no contexto do Rio Doce, mostram que esses instrumentos podem e devem ser utilizados para a recuperação de rios e gestão de recursos hídricos. Os resultados para a análise estática mostram que para a componente zonal, a precisão foi de 1,38 metros enquanto que para a componente meridional foi de 2,29 metros. Já para a acurácia, em relação à localização e velocidade, foram 2,3 metros e 6,7 cm/s, respectivamente [8].

Na análise dinâmica, comparando os valores calculados a partir dos dados do derivador e os valores medidos pelo ADCP, o resultado para o viés foi de -0,65 cm/s, para o RMSE foi de 8,72 cm/s e para Pearson foi de 0,91. Portanto, em relação ao ADCP, o derivador fornece boas estimativas das medidas comparadas [8].

Além disso, o derivador conseguiu mapear zonas de convergência que coincidem com zonas de deposição de sedimentos, demonstrando a capacidade do derivador de “encontrar” bancos de areia e zonas

propensas à sedimentação, tanto neste estudo (mostrado na Figura 4 e 5) quanto em [8]. Os bancos de areia são ilhas formadas pelo acúmulo de areias ligadas ao processo de sedimentação nos leitos dos rios e normalmente são relacionados a lugares que sofrem intenso processo de erosão, a identificação dos bancos de areia são de extrema importância para diagnosticar mudanças que ocorrem no rio [12]. A identificação e mapeamento dos bancos de areia é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, no estudo de [13] é identificado um intenso assoreamento no leito do Rio Paraíbuna, em SP, que chega a formar bancos de areia próxima a zona de captação de água de uma ETA, causando problemas, como a diminuição na captação de água e desgaste dos equipamentos, sendo necessário portanto um desassoreamento [13]. No contexto do desastre de Mariana - MG, localizar esses bancos de areia se torna especialmente importante, principalmente por eles poderem ter sedimentos provenientes da queda da barragem da Samarco, sedimentos esses que são tóxicos e em ondas de cheia, podem ser carregados para cidades próximas, portanto, mapear eles para evitar possíveis problemas em relação à gestão dos recursos hídricos é de importância ímpar, e que ganha dimensões maiores se tratando de zonas em que rejeitos de mineração foram lançados no rio.

Portanto, levando em conta o baixo custo dos derivadores utilizados neste projeto e a praticidade em seu uso, os derivadores fluviais rastreados por satélite fornecem boas estimativas em questão de localização e velocidade, além de terem a capacidade de mapear zonas de convergência, podendo ser ótimos instrumentos para localizar áreas de estudo e coleta de sedimentos, minimizando esforços das equipes no campo, conclusão essa apontada tanto por esse estudo quanto por [8].

Agradecimentos

Agradecimentos a FAPEMIG/RENOVA, pelo apoio ao Projeto “Derivadores Rastreados por Satélite e Monitoramento Automático de Parâmetros Ambientais Aplicados ao Entendimento da Contribuição dos Afluentes para o Restabelecimento do Rio Doce” (APQ-00405-19). Os autores são gratos também ao CNPq e à UNIFEI.

Referências

[1] Rice, S. P., Rhoads, B. L., and Roy, A. G.: Introduction: River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network, in: River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network, John Wiley & Sons, Ltd, 1-9, 2008.

[2] Yuan, S., Tang, H., Li, K., Xu, L., Xiao, Y., Gualtieri, C., et al. (2021). Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence between the Yangtze River and the Poyang Lake. *Water Resources Research*, 57, e2020WR028284. <https://doi.org/10.1029/2020WR028284>

[3] Roca, M., Martín-Vide, J. P., and Moreta, P. J. M.: Modelling a torrential event in a river confluence. *Journal of Hydrology*, V. 364, 207–215, 2009.

[4] Gualtieri, C., et al. A field study of the confluence between Negro and Solimões Rivers. Part 1: Hydrodynamics and sediment transport. *Comptes Rendus Geoscience*, 350 31 – 42, 2018.

[5] Assireu, A., Dauhut, T., Santos, F., and Lorenzetti, J.: Near-inertial motions in the Brazil Current at 24°S-36°S: Observations by satellite tracked drifters. *Continental Shelf Research*, V. 45, 1-12, 2017.

[6] Novelli, G; Guigang, C; Technological Advances in Drifters for Oil Transport Studies. *Marine Technology Society Journal*, 52 (6), 2018.

[7] Iwata, T., Ikeda, Y., Uzawa, R. et al. Lagrangian tracking measurements revealed the temporal dynamics of nitrogen and phosphorus spiralling in a large Japanese river. *Limnology* 21, 379–391 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00612-4>

[8] João Vitor Pimenta et al. DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITE APLICADOS A AMBIENTES FLUVIAIS: APLICAÇÃO PARA ESTUDOS ACERCA DA RECUPERAÇÃO DO RIO DOCE. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos. São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/derivadores-rastreados-por-satelite-aplicados-a-ambientes-fluviais-aplicacao-par?lang=en>>.

[9] Hulbert & French. The accuracy of GPS for wildlife telemetry and habitat mapping. *Journal of Applied Ecology* 2001 38, 869-878.

[10] D’Asaro, E.A. Estimation of velocity from Argos-tracked surface drifters during OCEAN STORMS. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 9, n. 5, p. 680-686, 1992.

[11] ASSIREU, A. T.; Alcântara, E. ; Novo, E. M. L. M. ; Roland, F. ; Pacheco, F. S. ; STECH, J. L. ; LORENZZETTI, J. A. . Hydro-physical processes at the plunge point: an analysis using satellite and in situ data. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, p. 3689-3700, 2011.

[12] LINHARES, M.; et al. Método para identificação de bancos de areia ao longo do leito de rios. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

[13] BUENO, Rafael Ivens da Silva. Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento-caso: Rio Paraíbuna/SP. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.