



APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS DUNAS PARA DETERMINAÇÃO DA DESCARGA DE FUNDO NO RIO PARANÁ

Paulo Everardo Muniz Gamaro¹, Luiz Henrique Maldonado², Jorge Luiz de Castro³

RESUMO: Conhecer o aporte de sedimentos é fundamental para o gerenciamento dos Recursos Hídricos. O tipo de formação do leito, o material de fundo e o comportamento dinâmico do fundo devem ser conhecidos para melhor entendimento de condições hidrológicas e hidráulicas, como: validade de curvas-chave, velocidades indexadas (caso de medidores estáticos) e relações cota-área. A medição da descarga de fundo pode ser realizada por diversos métodos, entretanto, a aplicação de uma metodologia para medições em grandes rios ainda é um desafio. O presente trabalho apresenta a aplicação do método das dunas para determinação da descarga de fundo no rio Paraná. A partir de levantamentos longitudinais a cada período de tempo, é possível estimar o deslocamento das dunas e quantificar a descarga fundo para cada período. Para as estações de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra Braço Direito, rio Paraná, as dunas foram identificadas e resultaram em uma descarga de fundo de 401.270ton, 456.800ton e 335.300ton, respectivamente, para o período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014. O método mostrou-se aplicável a um rio grande, como o Paraná, porém, cuidados práticos devem ser tomados, como a precisão do GNSS (*Sistema de Posicionamento Global*) utilizado, o deslocamento da embarcação sobre a linha batimétrica e o tempo adequado entre as campanhas.

ABSTRACT: Quantify the amount of sediments is fundamental to the management of water resources. The bedload measurement may be accomplished by various methods, however, a method for measurements on large rivers is still a challenge. This paper presents the application of the Dunes Method for determining the bedload on the Paraná River, based on previous experiences. Collecting data at longitudinal bathymetries is possible to estimate the displacement of dunes, as well as to quantify the bedload for each period. To gauge station Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra Braço Direito, Paraná River, identified dunes resulted in a bedload about 401.270t, 456.800t and 335.300t, respectively, for the period from February 2013 to February 2014. The Dunes Method was applicable to a large river, such as Paraná, however, care must be taken as precision GNSS (Global Navigation Satellite System) used, displacement of the vessel on the bathymetric line and adequate time between the campaigns.

Palavras-Chave: ADCP, descarga de sedimento de leito, medição de sedimento.

¹Engenheiro da UHE Itaipu Binacional; Av. Tancredo Neves, 6731, Foz do Iguaçu, PR. E-mail: pemg@itaipu.gov.br

²Engenheiro da UHE Itaipu Binacional; Av. Tancredo Neves, 6731, Foz do Iguaçu, PR. E-mail: lhmaldo@itaipu.gov.br

³Técnico da UHE Itaipu Binacional; Av. Tancredo Neves, 6731, Foz do Iguaçu, PR. E-mail: jorgelc@itaipu.gov.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento do transporte do material do leito é importante para o gerenciamento de um corpo d'água, assim como para se conhecer o impacto desta dinâmica, como: redução de capacidade de vazão, formação de bancos de areia e elevação ou rebaixamento do leito do rio.

Modificações do leito implicam em diversos problemas práticos, como: modificações nos perfis de velocidades do escoamento, podendo influenciar nos resultados das medições convencionais de vazão; alterações das relações “*cota x área*” e das velocidades indexadas.

Para se conhecer o comportamento do fundo e o seu deslocamento, devem-se aplicar técnicas de amostragem do leito, descarga de fundo e de arrasto.

Segundo Rennie & Millar (2007), as técnicas tradicionais de amostragem de leito estão propensas a grandes erros, pois possuem limitada abrangência espaço-temporal e de resolução, além de serem especialmente difíceis de se realizar em situações extremas, como altas vazões.

Em grandes rios, os amostradores são utilizados suspensos por cabos, tornando os resultados altamente variáveis no espaço e no tempo (Gray *et al.*, 2010). Mesmo que esta variabilidade indique flutuações reais do processo de transporte, a amostragem está propícia a possíveis erros operativos (Gauman & Jacobson, 2007). Assim, nestas condições, os resultados obtidos por diferentes métodos de estimativa da descarga de fundo apresentam grande discrepância entre si (Bangnold, 1966; Einstein, 1950).

Para quantificar as cargas de fundo, significativos avanços tecnológicos ocorreram e, em alguns casos, o conhecimento da granulometria desta carga se mostra promissora no sentido de suplantarem amostradores e métodos de amostragem tradicionais (Gray *et al.*, 2010). As técnicas mais desenvolvidas são o método acústico Doppler para areias e uso de geofone para cascalho.

Desde o aparecimento dos medidores acústicos Doppler, em 1990, seu campo de aplicações vem aumentando, e foi natural que também se direcionasse para a área sedimentológica. A forma de medição dos medidores Doppler o faz um instrumento de alto desempenho, pois a amostragem ocorre por quase toda a seção transversal. Além disso, a amostragem não é intrusiva e é relativamente seguro, uma vez que não se necessita de cabos e, se necessário, pode se deslocar prontamente. Diversos autores iniciaram estudos na área de cálculo do sedimento em suspensão com medidores Doppler, entre eles Reichel & Nachtenebel (1994), Gartner (2002), Gartner & Ganju (2007), Filizola (2004) e Szupiany *et al.* (2009). No cálculo da descarga de fundo, outros autores buscaram o uso de ADCPs, entre eles Rennie & Millard (2007), Rennie *et al.* (2002), Gauman & Jacobson (2007) e Yorozyua *et al.* (2010).

Nas condições de altas velocidades do escoamento e grandes profundidades, as amostragens de sedimento de fundo se tornam difíceis e perigosas de serem realizadas. Deste modo, a

possibilidade de aplicar o método Doppler para medições simultâneas de carga de fundo e vazão racionaliza orçamentos, resulta em uma maior amostragem e com uma maior frequência.

Um exemplo de grande rio é o Paraná, que tem como leito natural, em território brasileiro, apenas 200 km entre a jusante da UHE Sergio Motta (Porto Primavera) e o remanso do reservatório da Usina de Itaipu. Este trecho é de grande importância à geração de energia do Brasil e Paraguai, seja pelas descargas líquidas para o planejamento energético, seja pelas descargas sólidas no controle de vida útil do reservatório, e possíveis problemas nas turbinas (Gamaro *et al.*, 2011).

Assim, este trabalho apresenta a aplicação do Método das Dunas em um grande rio, como o rio Paraná, para se conhecer o comportamento do deslocamento do material de fundo, determinando-se, assim, a descarga de fundo nas estações de P. São José, P. Caiuá e Guaíra B. Direito.

LOCAIS DE ESTUDO

Os três locais de estudos estão situados no rio Paraná, em seu curso médio, nas estações fluviométricas intituladas Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra Braço Direito (Figura 1).



Figura 1: Estações de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra Braço Direito, no rio Paraná

Porto São José

A estação de Porto São José, código 64575000, latitude $22^{\circ} 71'78,2''$ e longitude $53^{\circ} 17'67,6''$, situa-se no rio Paraná, 37 km à jusante da Usina Sergio Motta (UHE Porto Primavera). É a primeira seção no rio Paraná onde é possível realizar medições (*e.g.*: vazão, velocidade, batimetria) após as UHE Porto Primavera e Rosana. A largura da seção é de 1.263 m



Figura 2: Estação de Porto São José, no rio Paraná.

Porto Caiuá

A estação de Porto Caiuá, código 64618500, latitude $23^{\circ} 16' 1.7''$ e longitude $53^{\circ} 42' 46''$, situa-se no rio Paraná, 127 km à jusante da Usina Sergio Motta (Porto Primavera). É a última seção no rio Paraná onde é possível realizar medições (*e.g.*: vazão, velocidade, batimetria) em um único canal, antes da Ilha Grande, e sem influência do Reservatório de Itaipu (Figura 3). A largura da seção é de 1.169 m.



Figura 3: Estação de Porto Caiuá, no rio Paraná.

Guaíra Braço Direito

A Estação de Guaíra Braço Direito (GBD), código 64838000, latitude $24^{\circ} 2' 32.7''$ e longitude $54^{\circ} 14' 2.7''$, situa-se no rio Paraná, 100 km à jusante de Porto Caiuá e 170 km à montante da UHE Itaipu. A estação GBD é a última seção de medição antes do reservatório de Itaipu e é uma área de extração de areia. As águas do rio Paraná estão divididas em dois canais, sendo que 2/3 da vazão total está no canal de GBD e 1/3 no canal de Guaira B. Esquerdo. A largura da seção é de 641 m.

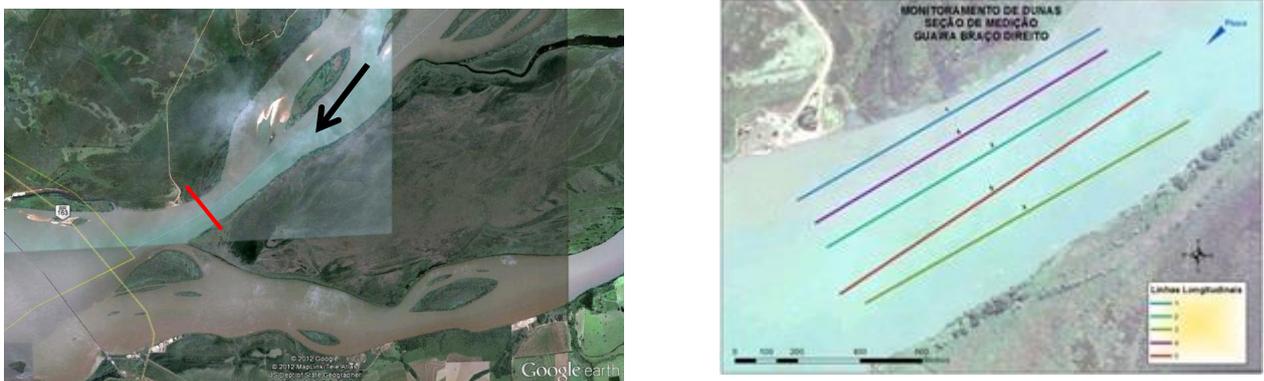


Figura 4: Estação de Guaíra Braço Direito, no rio Paraná.

METODOLOGIA

A metodologia para se conhecer a forma do leito para certo trecho do rio consiste na realização de levantamentos batimétricos longitudinais. A partir do levantamento das configurações de fundo do escoamento, estima-se o movimento de arrasto do sedimento de fundo aplicando a Equação das Dunas e Rugas (Equações de 1 a 4).

A descarga sólida do sedimento (qb), por unidade de largura, é explicitada em função da velocidade média de deslocamento das dunas (V_d) e da altura média das dunas (H_d):

$$qb = f(V_d, H_d) \quad (1)$$

O cálculo da velocidade média de deslocamento (V_d) é baseado na determinação do deslocamento (d) das cristas das dunas em função do tempo (Figura 5):

$$V_d = \text{distância} / \Delta \text{tempo} \quad (2)$$

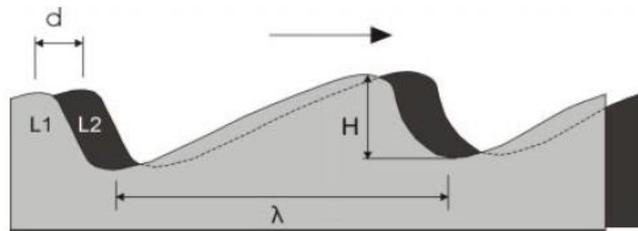


Figura 5: Esquema de uma duna para 2 instantes (L1 cinza e L2 preta). “ H ” (ou H_d) indica a altura da duna, “ d ” a distância entre as cristas e λ o comprimento da duna. *Fonte: Martins (2004).*

Considerando que as dunas tem um formato triangular, a carga de fundo unitária (qb) é determinada pela Equação de Dunas e Rugas, que é expressa por:

$$qb = (1 - p) V_d \cdot \frac{H_d}{2} \quad (3)$$

sendo, p = porosidade (coeficiente usual para areia: $p = 0,35$);

V_d = velocidade média de deslocamento da duna ($m \cdot s^{-1}$);

H_d = altura média da duna, ou distância vertical entre cava e crista (m).

Assim, a descarga de fundo é determinada em função da área de abrangência de cada batimetria longitudinal, Equação 4:

$$Q_{sa} = \sum qb \cdot \Delta W \cdot \gamma_s \quad (4)$$

sendo, Q_{sa} = carga de fundo ($ton \cdot dia^{-1}$);

qb = carga de fundo, por unidade de largura ($m^2 \cdot dia^{-1}$);

ΔW = largura incremental, entre as seções batimétricas (m);

γ_s = peso específico real da areia ($\gamma_s = 2,65 ton \cdot m^{-3}$).

Para a estimativa da descarga sólida do sedimento (Q_{sa}), foram realizadas batimetrias longitudinais nas estações de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra Braço Direito nos dias

26/02/2013, 09/04/2013, 21/05/2013, 16/07/2013, 27/08/2013, 08/10/2013, 26/11/2013, 14/01/2014 e 25/02/2014.

Os equipamentos utilizados para as coletas dos dados foram um ADP e um GNSS (Fig.6).



ADP, modelo M9



GNSS com correção diferencial (DGPS), modelo Navcom

Figura 6: Equipamentos utilizados para os levantamentos batimétricos longitudinais.

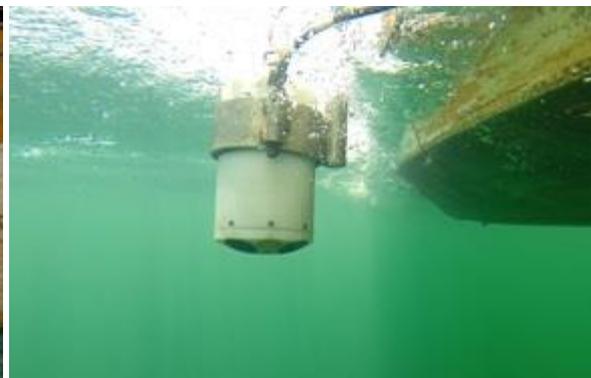


Figura 7: Levantamento das batimetrias longitudinais.

Os pontos de início e fim de cada linha batimétrica longitudinal foram estipulados com o auxílio do equipamento GNSS, de maneira que a linha de navegação fosse mantida a mesma entre os levantamentos para diferentes datas. Além disso, o equipamento GNSS foi acoplado ao ADCP, para que durante as coletas, os dados de posição e profundidade estejam sincronizados.

Em virtude de dificuldades encontradas em trabalhos anteriores (Gamaro *et al.*, 2011 e 2012), foi utilizado o Software “*HydroSurveyor*” para a determinação das profundidades e coordenadas de cinco pontos a cada segundo. No método tradicional coleta-se, com o ecobatímetro, um ponto por segundo. A partir desta nova coleta (cinco pontos por segundo), é possível medir profundidades do leito ao longo de uma largura proporcional a profundidade do local (Figura 8).

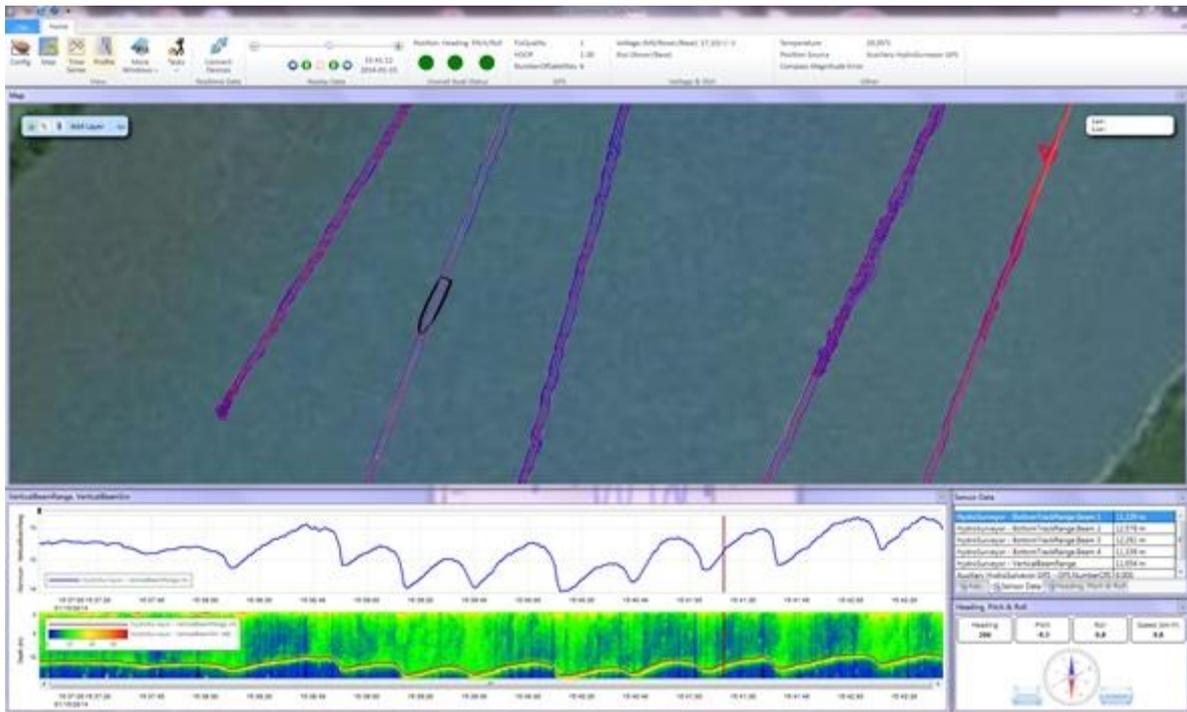


Figura 8: Coleta de dados (profundidade e coordenada) com software HydroSurveyor.

Para cada linha batimétrica longitudinal, os dados coletados foram interpolados pelo método de “krigagem”, determinando um Modelo Digital de Terreno (MDT). Plotando a linha teórica batimétrica sobre o MDT, determinam-se as profundidades, para cada ponto, ao longo da linha batimétrica (Figura 9). Deste modo, para um mesmo ponto, é possível comparar as profundidades obtidas em diferentes campanhas de campo (fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014).

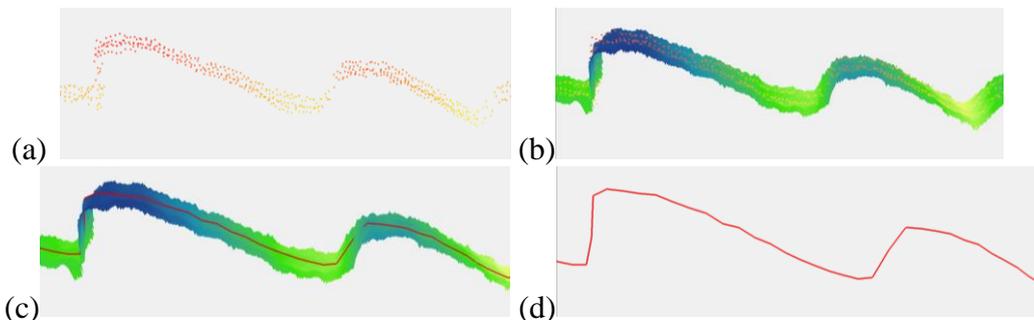


Figura 9: (a) pontos coletados; (b) pontos coletados e MDT; (c) MDT e linha batimétrica teórica e (d) linha batimétrica.

Entretanto, para comparar as profundidades das linhas batimétricas entre diferentes datas, assim como, para verificar o quanto cada duna se deslocou a jusante, é necessário realizar o “*manual tracking*”, que é a localização manual das cristas e cavas de cada duna. Neste processo, cada duna é identificada com um código de identificação, para que seja possível acompanhar o seu deslocamento ao longo do tempo.

RESULTADOS

Estação Porto São José

Para a estação de Porto São José, foram identificadas dunas com alturas médias por campanha de 1,31m a 1,45m, comprimento de 73 a 81m e velocidades de deslocamento de $0,92\text{m.dia}^{-1}$, com valores máximos e mínimos de $1,46\text{ m.dia}^{-1}$ e $0,65\text{ m.dia}^{-1}$, respectivamente.



Figura 10: Localização das linhas batimétricas na Estação de Porto São José.

Estação Porto Caiuá

Para a estação de Porto Caiuá, foram identificadas dunas com alturas médias por campanha de 1,09m a 1,31m, comprimento de 56 a 68m e velocidades de deslocamento de $1,05\text{m.dia}^{-1}$, com valores máximos e mínimos de $1,52\text{ m.dia}^{-1}$ e $0,80\text{ m.dia}^{-1}$.

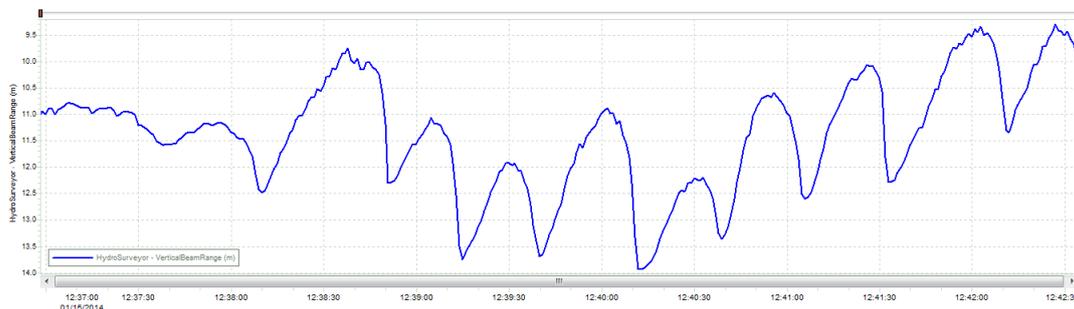


Figura 11: Localização das linhas batimétricas na Estação de Porto Caiuá.

Estação Guaíra Braço Direito (GDB)

Para a estação de Guaíra Braço Direito, identificadas dunas com alturas médias por campanha de 1,37m a 2,14m, comprimento de 66 a 101m e velocidades de deslocamento de $0,88\text{m.dia}^{-1}$, com valores máximos e mínimos de $1,47\text{ m.dia}^{-1}$ e $0,55\text{ m.dia}^{-1}$.

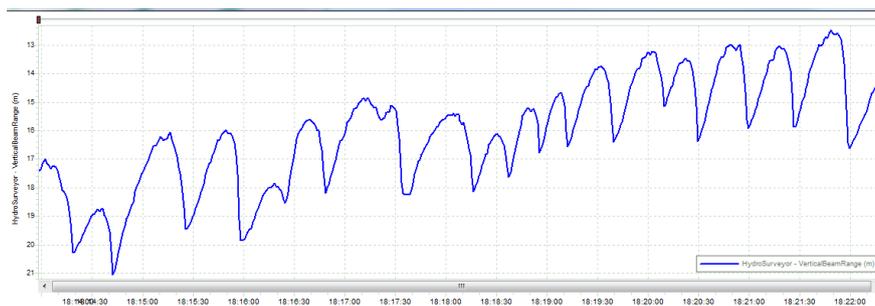


Figura 12: Localização das linhas batimétricas na Estação GDB.

Resumo dos resultados

O comportamento das alturas das dunas entre as estações são distintas entre si, entre os períodos, conforme Figura 13, sendo que as dunas tornaram-se menores com vazões superiores.

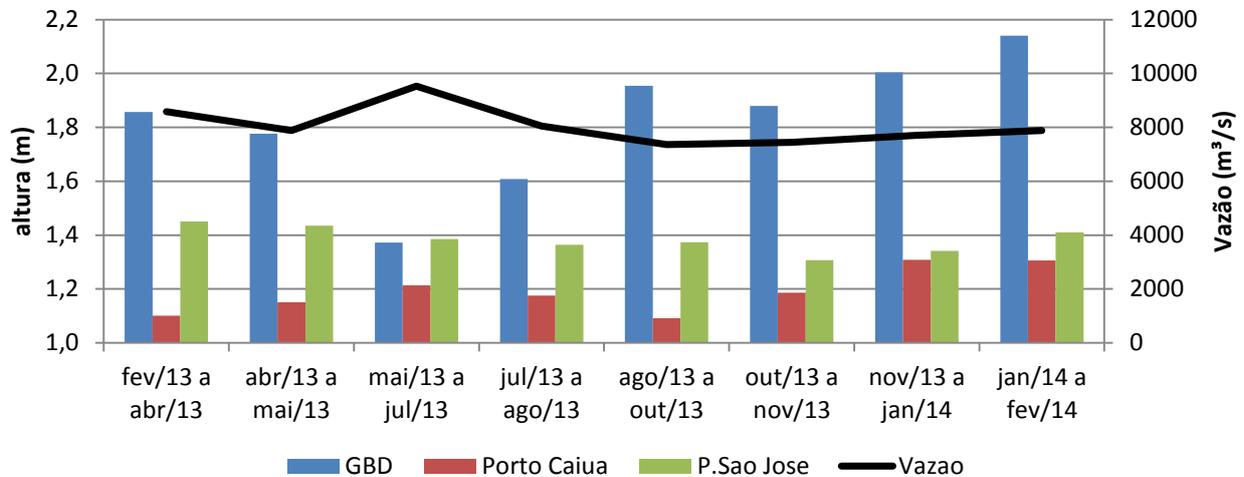


Figura 13: Altura das dunas para as três estações fluviométricas e a vazão média no período.

A partir das alturas das dunas para cada estação (Figura 13), foram estimadas as velocidades de deslocamento das dunas para cada período (Figura 14).

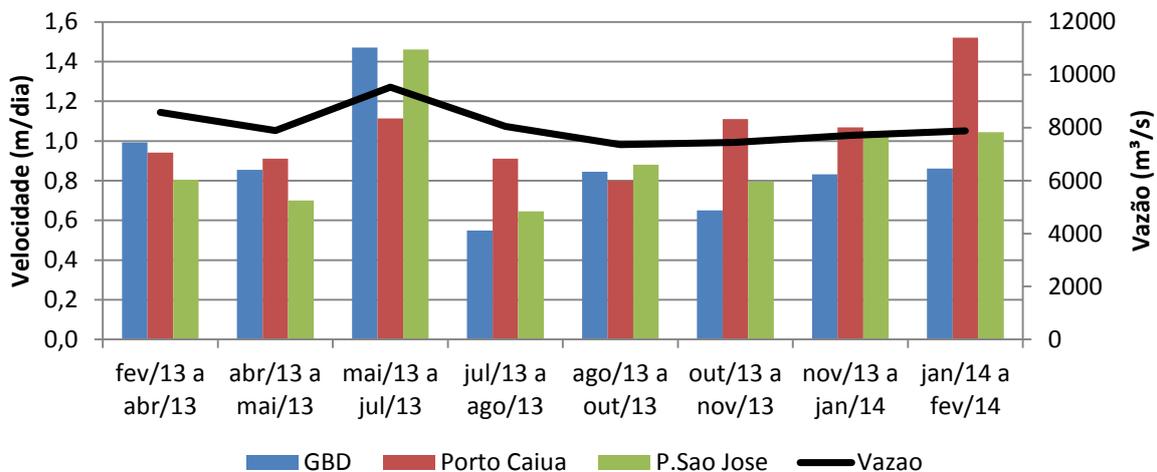


Figura 14: Velocidade de deslocamento das dunas para as três estações fluviométricas e a vazão média no período.

Segundo as velocidades apresentadas na Figura 14, nota-se que as dunas deslocam-se de maneira não uniforme ao longo do ano e entre as estações. Para o período de maio de 2013 a julho de 2013, ocorreu um maior deslocamento das dunas ($1,47\text{m.dia}^{-1}$ ou 44m.mês^{-1} para GBD) devido à cheia ocorrida no rio Paraná. Neste mesmo período, nota-se que ao mesmo tempo que as velocidades de deslocamentos das dunas aumentaram (Figura 14), houve uma diminuição das alturas das dunas (Figura 13), o que indica uma “lavagem” das dunas durante o período de cheia.

Além disso, considerando o período posterior ao da cheia (julho a agosto de 2013), a velocidade de deslocamento das dunas foi a menor medida ao longo de todo o período de

fevereiro/2013 a fevereiro/2014, correspondendo a $0,55\text{m.dia}^{-1}$ ou $16,5\text{m.mês}^{-1}$ para GBD), indicando uma recomposição das dunas após a “lavagem” ocorrida no período anterior (cheia).

Aplicando as Equações 3 e 4 nos resultados obtidos (Figura 13 e 14), foram determinadas as descargas de fundo para cada período e em cada estação (Figura 15), considerando a porosidade de 0,35 e o peso específico de $2,65\text{ ton.m}^{-3}$.

Assim, ao longo do período de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014, as cargas de fundo acumuladas foram (Figura 15):

Estações de Porto São José: 401.270 ton;

Estação de Porto Caiuá: 456.800 ton;

Estação de GBD: 335.300 ton.

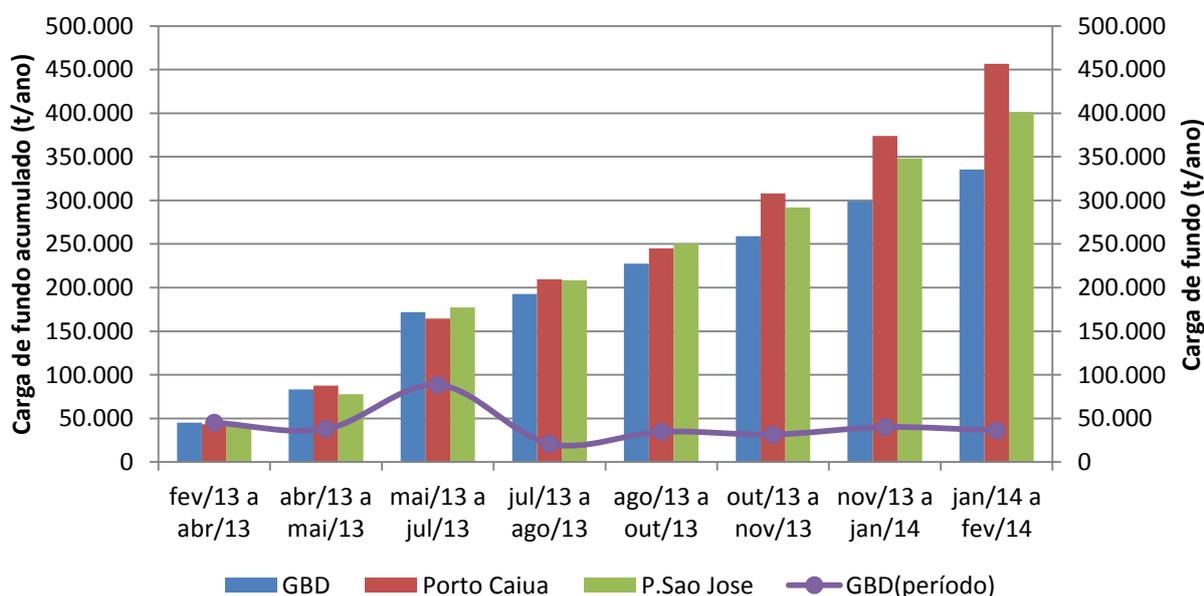


Figura 15: Descargas de fundo acumuladas obtidas para as três estações fluviométricas e a carga de fundo de cada período para GBD.

Para a estação de GBD, a carga de fundo no período da cheia (maio de 2013 a julho de 2013) resultou em valores de 1.581ton.dia^{-1} , aumento de 75% comparada à carga média do período de fev/2013 a fev/2014 (900 ton.dia^{-1}). O período posterior ao da cheia apresentou valores de 500 ton.dia^{-1} , redução de 44% comparada à carga média do período de fev/2013 a fev/2014.

A carga de fundo acumulada em GBD, de fev/2013 a fev/2014 ($335.300\text{ ton.ano}^{-1}$), resultou em uma redução de 53%, comparada à carga de fundo estimada em GBD em 2012 por Gamaro *et al.* (2012) ($715.000\text{ ton.ano}^{-1}$). Esta redução da carga de fundo está diretamente correlacionada com a vazão inferior registrada para o ano de 2013, comparado ao ano de 2012, ocasionando menores velocidades de deslocamentos (Tabela 1). Além disso, nota-se que houve uma melhoria nas coletas de campo, como a utilização de um GNSS de maior precisão, cinco vezes mais pontos coletados por segundo pela sonda acústica e maior quantidade de campanhas de campo (quatro campanhas em 2012 e nove campanhas em 2013).

Para a estação de Porto Caiuá, a carga de fundo acumulada de fev/2013 a fev/2014 (456.800 ton.ano⁻¹) resultou em uma redução de 19%, comparada à carga de fundo estimada em 2012 por Gamaro *et al.* (2012) (568.300 ton.ano⁻¹) e uma redução de 70%, comparada à carga de fundo estimada em 2010 por Gamaro *et al.* (2011) (1.530.000 ton.ano⁻¹). Esta redução da carga de fundo está diretamente correlacionada com a vazão inferior registrada no ano de 2013, comparado aos anos de 2012 e 2010, ocasionando menores velocidades de deslocamentos (Tabela 2). Entretanto, as coletas de 2010 devem ser utilizadas com ressalvas, visto que o tempo de amostragem entre as coletas foram de 80 minutos, valor considerado pequeno para a determinação dos deslocamentos das dunas. Além disso, nota-se que houve uma melhoria nas coletas de campo, como a utilização de um GNSS de maior precisão, cinco vezes mais pontos coletados por segundo pela sonda acústica e maior quantidade de campanhas de campo (duas em 2010 e nove em 2013).

Tabela 1 – Resultados obtidos aplicando o método das dunas na estação de Porto São José.

Referência	Período	Tempo	Vazão	Deslocamento da duna		Descarga de Fundo	
			m ³ /s	m/dia	m/mês	ton/dia	ton/ano
Stevaux & Takeda (1995)	-	-	-	2,23	67	-	-
Martins (2004)	dez/02	17 dias	6.257				
	jul/03	19 dias	6.762	1,60	47		1.029.300
	dez/03	21 dias	7.625				
Gamaro et al. (2014)	abr/13	42 dias	7.700	0,80	24	980	
	mai/13	42 dias	7.200	0,70	21	870	
	jul/13	56 dias	8.500	1,46	44	1.780	
	ago/13	42 dias	7.260	0,65	20	740	401.270
	out/13	42 dias	7.360	0,88	26	1.000	
	nov/13	49 dias	7.280	0,80	24	850	
	jan/14	49 dias	8.170	1,05	32	1.150	
	fev/14	42 dias	8.070	1,05	32	1.260	

Tabela 2 – Resultados obtidos aplicando o método das dunas na Estação de Porto Caiuá.

Referência	Período	Tempo	m ³ /s	m/dia	m/mês	ton/dia	ton/ano
Gamaro et al. (2011)	abr/10	80min	14.220	1,72	52	5.440	1.531.175
	out/10	80min	9.050	-	-	2.950	
Gamaro et al. (2012)	abr/12	82 dias	10.600	0,45	14	-	568.311
	jun/12	28 dias	12.480	1,24	37	-	
Gamaro et al. (2014)	abr/13	42 dias	10.414	0,94	28	1.031	
	mai/13	42 dias	9.471	0,91	27	1.058	
	jul/13	56 dias	11.780	1,11	33	1.374	
	ago/13	42 dias	9.476	0,91	27	1.067	456.805
	out/13	42 dias	9.225	0,80	24	845	
	nov/13	49 dias	9.196	1,11	33	1.285	
	jan/14	49 dias	9.996	1,07	32	1.349	
fev/14	42 dias	10.131	1,52	46	1.970		

Para a estação de Porto São José, a descarga de fundo acumulada de fev/2013 a fev/2014 (401.270 ton.ano⁻¹) resultou em uma redução de 61%, comparada à carga de fundo estimada em 2003 por Martins (2004) (1.029.270 ton.ano⁻¹). Se considerar apenas as velocidades de deslocamentos das dunas, Stevaux & Takeda (1995) identificaram deslocamentos de 67 m.mês⁻¹ em 1994; Martins (2004) identificou deslocamentos de 47 m.mês⁻¹ em 2003 e o presente estudo identificou deslocamentos de 27 m.mês⁻¹ para o ano de 2013 (Tabela 3). Nota-se que está ocorrendo um processo de redução da velocidade de deslocamento das dunas em Porto São José, com uma redução de 29% de 1993 a 2003 e uma redução de 41% de 2003 a 2013 (ou 59% de 1993 a 2013); com provável explicação devida ao início da operação da Usina Sergio Motta (UHE Porto Primavera), em 1998, situada 37 km à sua montante. Além disso, nota-se que houve uma melhoria nas coletas de campo, como a utilização de um GNSS de maior precisão, cinco vezes mais pontos coletados por segundo pela sonda acústica e maior quantidade de campanhas de campo (três campanhas em 2002/2003 e nove campanhas em 2013).

Tabela 3 – Resultados obtidos aplicando o método das dunas na Estação de Guaira B. Direito.

Referência	Período	Tempo	Vazão	Deslocamento da duna		Descarga de Fundo	
			m ³ /s	m/dia	m/mês	ton/dia	ton/ano
Gamaro et al. (2012)	abr/12	48 dias	8.400	0,97	29	1.870	715.000
	mai/12	37 dias	8.950	0,77	23	1.560	
	jun/12	27 dias	12.300	1,40	42	2.925	
Gamaro et al. (2014)	abr/13	42 dias	8.584	0,99	30	1.076	335.300
	mai/13	42 dias	7.886	0,85	26	903	
	jul/13	56 dias	9.533	1,47	44	1.581	
	ago/13	42 dias	8.048	0,55	16	499	
	out/13	42 dias	7.364	0,85	25	827	
	nov/13	49 dias	7.442	0,65	20	645	
	jan/14	49 dias	7.708	0,83	25	818	
	fev/14	42 dias	7.883	0,86	26	863	

CONCLUSÕES

A quantificação de descarga sólida de fundo em um rio da dimensão do rio Paraná é um trabalho complicado e não pode ser simplificado com fórmulas e modelos que, muitas vezes, não são adequados para grandes rios. Neste estudo foram realizadas batimetrias longitudinais para se conhecer o comportamento dinâmico do leito do rio Paraná.

O presente trabalho identificou dunas, em 2013, com altura média de até 2,1m, comprimento médio de até 101 m e deslocamentos entre 16,5 a 44 m.mês⁻¹. Comparando com trabalhos anteriores, (Stevaux & Takeda, 1995 e Martins, 2004), nota-se que está ocorrendo um processo de redução da velocidade de deslocamento das dunas em Porto São José, com uma redução de 29% de 1993 a 2003 e uma redução de 41% de 2003 a 2013 (ou 59% de 1993 a 2013).

As diferenças encontradas em cada trabalho são explicadas inicialmente por diferentes condições hidrológicas. Para o ano de 2013, nota-se que houve grandes variações dos deslocamentos das dunas ao longo do período, em função da variação da vazão, comprovando a necessidade de se realizar o monitoramento de modo contínuo. Além disso, o procedimento operativo para a realização das atividades também foram diferentes. Entre os trabalhos apresentados por Gamaro *et al.* (2011), Gamaro *et al.* (2012) e o presente trabalho houve uma melhoria na coleta dos dados, como a utilização de GNSS de maior precisão, maior experiência do barqueiro ao longo das atividades, ADCP com ecobatímetro acoplado e sincronizado, maior quantidade de pontos coletados por segundos e melhor identificação dos pontos pelo software.

As cargas de fundo estimadas pela equação de Dunas, para o período de fevereiro/2013 a fevereiro/2014, para as estações de Porto São José, Porto Caiuá e Guaira Braço Direito foram de 401.270 ton., 456.800 ton. e 335.300 ton., respectivamente.

Os diferentes resultados obtidos entre os trabalhos também dão um indicativo de que os procedimentos de campo devem ser padronizados. Conhecer o comportamento do rio e das dunas, a partir de batimetrias longitudinais, ajuda a definir algumas variáveis, como: o número de seções batimétricas; comprimento longitudinal de cada batimetria; tempo de amostragem entre as campanhas; tipo de equipamento utilizado (sonda acústica e GNSS); método de navegação; software de coleta/processamento dos dados; identificação manual de cada duna; coeficiente de forma da duna utilizado; e o real coeficiente de porosidade presente em cada período.

De forma a melhorar os resultados obtidos, espera-se realizar campanhas em condições de cheias superiores às medidas, com o intuito de monitorar a movimentação de bancos de areia e dunas neste trecho do rio Paraná. Além disso, algumas variáveis devem ser estudadas e conhecidas, como: coeficiente de forma de cada duna (utilizado, até então, o formato triangular), real porosidade de cada local e real peso específico do material do leito.

BIBLIOGRAFIA

BANGNOLD, R.A. (1966). *An Approach to the sediment transport Problem from General Physics*. U.S. Geological Survey Professional Paper.

EINSTEIN, H. A. (1950). *The Bed Load Function for Sediment Transportation in open Channel Flows*. U.S. Dept. Agric.; S.C.S., T.B. n.1026.

FILIZOLA N.P. (2004). *The Use of Doppler Technology for Suspended sediment discharge determination in the Amazon River* In: Journal des Sciences Hydrologic.

GAMARO, P.E.M., MALDONADO, L.M., LIMA, K.A. (2011). *Avaliação da carga de sedimentos de fundo pelo método de deslocamento de dunas e medidores acústicos Doppler*. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2011. ANAIS XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2011.

- GAMARO, P.E.M., MALDONADO, L.H., LIMA, K.A. (2012). *Medição de Carga de Fundo pelo Método Acústico Doppler e Aplicação da Equação de Dunas e Rugas, em Grandes Rios com Leito Arenoso*. X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Foz do Iguaçu, 2012.
- GARTNER J.W. (2002). *Estimation of suspended solids concentrations based on Acoustic Backscatter Intensity: Theoretical Background*. In Turbidity and Other Sediments Surrogates Workshop. Reno-NV.
- GARTNER J.W. GANJU N.K. (2007). *Correction Acoustic Doppler Current Profiler Discharge measurement bias from moving-bed conditions without global positioning during 2004 Glen Canyon Dam controlled flood on the Colorado River*.
- GAUMAN D. & JACOBSON R.B.(2007) *Field Assessment of Alternative Bed-Load Transport Estimators*In: Journal of Hydraulic Engineering- ASCE. V133 n 12. 1319-1328.
- GRAY, J.R, LARONNE, J.B., MARR, J.D.G. (2010) *Bed load surrogate monitoring Technologies*. U.S. Geological survey scientific investigation. Report- 2010– 5091.
- MARTINS, D. P. (2004). *Dinâmica das Formas de Leito e Transporte de Carga de Fundo no Alto rio Paraná*. Dissertação de Mestrado. UEM, Maringá, 2004.
- REICHEL G., NACHTNBEL H.P.(1994). *Suspended sediment monitoring in a Fluvial Environment: Advantages and Limitations Applying an Acoustic Doppler Current Profiler*. In Water Resources . V 28, N 4 pp 751-761. Great Britain.
- RENNIE C. MILLAR R.G. CHURCH M.A.(2002).*Measurement of Bed Load Velocity Using an Acoustic Doppler Current Profiler* . In Journal of Hydraulic Engineering. V 128. N 5. 473-483.
- RENNIE C, D. & MILLAR, R. G. (2007). *A deconvolution technique to separate signal from noise in gravel bedload velocity data*. In. Journal of Hydraulic engineering, 133: 845-856.
- STEVAUX, J.C. &TAKEDA, A.M. (1995). *Interaction between benthic community and fluvial geomorphologic processes in the upper Parana River (Brazil)*, XXVI Congress of International Association of Theoretical and applied limnology . Sp, Brasil. Abstracts, p30.
- SZUPIANY R., AMSLER M., FORNARI E. HERNANDEZ J.(2009). *Uso de la Tecnología acústica Doppler Para la Estimacion Del Transporte de Arena em Suspension em un Gran Rio*. In I Simposio sobre Metodos Experimentales en Hidraulica.
- YOROZUYA A., KANNO Y., FUKAMI K. (2010). *Bed load Discharge Measurements by ADCP in Actual rivers* . International Conference on Fluvial Hydraulics- River Flow. CD ROM.