



Utilização de novas tecnologias para o mapeamento cartográfico náutico sistemático da Hidrovia do Rio Paraguai

Paulo Pereira Oliveira Matos ¹
Juarez Cerqueira Ferreira ¹
Victor Hugo do Espírito Santo Conceição ¹

¹ Centro de Hidrografia da Marinha - CHM
Rua Barão de Jaceguai, s/no
28040-900 - Niterói - RJ, Brasil
{paulo, juarez}@chm.mar.mil.br, kafos1234@gmail.com.

Resumo. Um dos principais corredores de movimentação de cargas da região Centro-Oeste brasileira é o rio Paraguai. Atualmente, a Hidrovia do Rio Paraguai movimenta mais de sete milhões de toneladas de carga, sendo a segunda maior hidrovia em movimentação de cargas no Brasil. Porém, para que estas cargas sejam transportadas de forma rápida, econômica e segura, é imprescindível um correto, sistemático e completo mapeamento do leito do rio. Esta responsabilidade, a cargo da Marinha do Brasil, remonta ao Plano Básico Cartográfico Náutico, de 1935, e materializa-se através da construção de documentos náuticos oficiais, tendo por objetivo a segurança da navegação. Estes documentos, chamados de cartas náuticas oficiais, resultam do processo cartográfico que tem, por origem, a coleta de dados batimétricos *in loco*. Esta coleta (sondagem) sempre se utilizou das mais modernas tecnologias disponíveis sendo, a mais recente, a utilização de ecobatímetros monofeixe e posicionadores precisos. No entanto, novas tecnologias apresentam-se atualmente, entre elas o ecobatímetro multifeixe, equipamento que possui diversas vantagens, entre elas permitir o recobrimento total do leito do rio. Este artigo descreve esta quebra de paradigma na coleta de dados batimétricos na calha do rio Paraguai, apresentando os primeiros resultados e conclusões da utilização desta tecnologia.

Palavras-chave: cartografia náutica, hidrografia, ecobatímetro multifeixe, segurança da navegação.

Abstract. One of the main cargo movement corridors of the Brazilian Midwest region is the Paraguay River. Currently, the Waterway of the Paraguay River moves more than seven million tons of cargo, being the second largest waterway in cargo handling in Brazil. However, for these loads to be transported quickly, economically and safely, it is essential to have a proper, systematic and complete mapping of the river bed. This responsibility, in charge of the Brazilian Navy and dating back to the Nautical Cartographic Basic Plan, 1935, is materialized by the construction of official nautical documents, with the objective of safety of navigation. These documents, called official nautical charts, result from the mapping process that has by origin, collecting bathymetric data on the specific spot. This collection has always used the most modern technologies available and, most recently, single beam echo sounders and accurate positioners. However, new technologies are presented today, including the multibeam echo sounder, equipment that has several advantages, including allowing full coverage of the riverbed. This article describes this paradigm shift in the collection of bathymetric data in the river Paraguay basin, presenting the preliminary findings and conclusions of the use of this technology.

Key-words: nautical cartography, hydrography, multibeam echo sounder, navigation safety.

1. Introdução

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2010), denomina como Hidrovia do Rio Paraguai o trecho do Rio Paraguai, em território nacional, entre a região de Cáceres/MT e a foz do Rio Apa/MS, percorrendo aproximadamente 1.270 quilômetros. Sendo um dos principais corredores de movimentação de cargas da região Centro-Oeste brasileira, atualmente, a Hidrovia do Rio Paraguai movimenta mais de sete milhões de toneladas de carga, sendo a segunda maior hidrovia em movimentação de cargas no Brasil. Esta hidrovia, além de escoar a produção agrícola dos estados do Centro-Oeste brasileiro, serve de ligação natural ao mar para países como a Bolívia e o Paraguai. Em 2014, a Hidrovia do Rio Paraguai movimentou um total de 7.1 milhões de toneladas de carga (Antaq, 2015), como pode ser visualizado na **Tabela 1**:

Tabela 1. Transporte de cargas (em t) e TKU por corredor hidroviário em 2014

Hidrovia	Navegação Interior			Total (t)	Distância Média (km)	TKU Total
	Estadual	Interestadual	Internacional			
rio Madeira	0	4.784.856	781	4.785.638	1.071	5.123.072.998
rio Solimões-Amazonas	3.077.063	7.476.357	16.207	10.569.627	554	5.853.836.436
rio Tocantins-Araguaia	906.264	2.357.562	0	3.263.827	207	676.569.427
Hidrovias do Sul	4.105.384	0	0	4.105.384	271	1.114.450.862
rio Paraguai	0	0	7.148.005	7.148.005	513	3.670.402.550
rio São Francisco	0	12.812	0	12.812	576	7.373.818
rio Paraná-Tietê	3.125.106	1.010.112	508.911	4.644.129	140	649.381.764

Fonte: ANTAQ (2015).

Ressalta-se, ainda, a previsão de investimentos e ampliação da capacidade de movimentação de carga nesta Hidrovia. O Plano Hidroviário Estratégico Brasileiro, documento elaborado pelo Ministério dos Transportes (2013), prevê uma movimentação total de cargas gerais de 10.871.000T em 2023 e de 14.883.000T em 2031 pela Hidrovia.

Para que estas cargas sejam transportadas de forma rápida, econômica e segura, é imprescindível um correto, sistemático e completo mapeamento das vias navegáveis regionais mais importantes. Desta forma, a Marinha do Brasil, consoante o Decreto-Lei no 243/67, exerce também nesta região a sua atribuição de planejar e executar a cartografia temática **náutica**. Assim, contribui de maneira ímpar para a segurança da navegação e do navegador, atendendo a convenções e regulamentos internacionais, como a Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar – SOLAS, estabelecida inicialmente em 1974.

Esta responsabilidade, a cargo da Diretoria de Hidrografia e Navegação, remonta ao Plano Básico Cartográfico **Náutico**, de 1935, e materializa-se através da construção de documentos náuticos oficiais, tendo por objetivo a segurança da navegação. Estes documentos, chamados de cartas náuticas oficiais, resultam do processo cartográfico que tem, por origem, a coleta de dados batimétricos *in loco*. Esta coleta (ou sondagem batimétrica), por sua vez, sempre se utilizou das mais modernas tecnologias disponíveis sendo, a mais recente, a utilização de ecobatímetros monofeixe e posicionadores precisos.

O processo cartográfico para o mapeamento náutico sistemático da Hidrovia do Rio Paraguai tem, como etapa inicial, a aquisição de dados batimétricos por navios e lanchas subordinadas ao Serviço de Sinalização Náutica do Oeste – SSN-6. A **Figura 1** mostra o alcance dos trabalhos desenvolvidos pelo SSN-6 na região. Até o ano de 2014, esta coleta de dados era realizada basicamente com ecobatímetros do tipo monofeixe, equipamentos que utilizam as características da propagação eletromagnética para adquirir a informação de profundidade pontual, georeferenciada. Porém, com o advento de novas tecnologias, como a batimetria multifeixe, bem como a aquisição, pelo SSN-6, de meios e equipamentos de topo de linha, a coleta de dados batimétricos (também conhecida por sondagem batimétrica) tem sido muito mais eficaz e eficiente, servindo de modelo para sondagens conduzidas em todas as demais hidrovias brasileiras.



Figura 1. Área coberta pela Hidrografia brasileira, onde se utilizará a tecnologia multifeixe para a sondagem batimétrica sistemática.

Fonte: Autor.

2. Objetivo

Este artigo tem por objetivo descrever a quebra de paradigma na coleta de dados batimétricos na calha do rio Paraguai, apresentando os primeiros resultados e conclusões da utilização de uma nova tecnologia para a coleta: o ecobatímetro multifeixe.

3. Materiais e Métodos

Miguens (1996) define ecobatímetro como um instrumento de propagação sonora simples, portador de um dispositivo que mede o tempo decorrido entre a emissão de um impulso sonoro e a recepção do seu eco, após refletir-se no fundo. Conhecendo-se esse tempo (cuja metade do valor corresponderá ao tempo necessário para o impulso atingir o fundo) e assumindo-se uma velocidade média de propagação do impulso (em geral de 1.500m/s), obtém-se a profundidade local, diretamente mostrada de forma visual ou digital, ou, ainda, indicada em papel especial de registro (ou em um mostrador LCD), que apresenta o perfil do fundo.

Os primeiros equipamentos a serem utilizados foram os ecobatímetros monofeixe. Estes equipamentos dominaram a Hidrografia por décadas, substituindo os antigos prumos de mão, modo de medição direta da profundidade local. Constituídos basicamente por um transdutor, um receptor e um registrador gráfico, os ecobatímetros monofeixe emitem um feixe eletromagnético por vez. Desta forma, ao receber o retorno deste feixe (chamado eco), por medições indiretas, obtém-se a profundidade pontual local – caso o equipamento esteja conectado a um posicionador, esta profundidade pontual estará georeferenciada, o que é primordial para a sua utilização na atualização cartográfica.

Toda a cartografia náutica brasileira recente, até meados da década de 90, utilizou como subsídios primários dados provenientes desta tecnologia. Muitas cartas náuticas ainda em vigor, em Águas Jurisdicionais Brasileiras, foram completamente sondadas utilizando-se ecobatímetros monofeixe.

Com o desenvolvimento da tecnologia de aquisição de dados batimétricos, em nível mundial, novos equipamentos foram apresentados à comunidade científica, entre eles os ecobatímetros multifeixe. Este equipamento representou uma importante quebra de paradigma em relação à batimetria tradicional. Ecobatímetros multifeixe são sensores que geram sequências de feixes estreitos, cuja profundidade é o resultado da combinação entre a medida do tempo de viagem dos feixes e dos ângulos de emissão e recepção do sinal acústico. Alguns sistemas multifeixe são capazes de obter mais de 50 perfis de varredura por segundo, obtendo diversas medidas de profundidade. Do mesmo sinal acústico de retorno, informações como a geomorfologia do fundo podem ser inferidas após a apropriada redução radiométrica e geométrica dos dados de retroespalhamento (*backscatter*) e sua correlação com amostras de fundo consistentes. A **Figura 2** mostra a diferença na aquisição de dados entre os dois equipamentos:

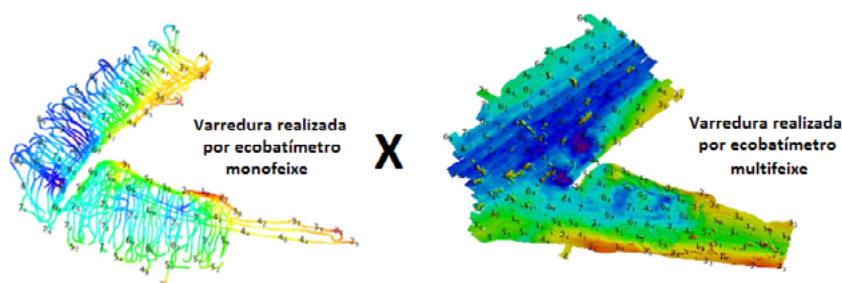


Figura 2. Diferença na aquisição de dados entre ecobatímetros monofeixe e multifeixe.

Fonte: Autor

Os ecobatímetros multifeixe são capazes de informar a profundidade em uma região, ao invés de pontualmente – o que é, efetivamente, a grande diferença entre as duas tecnologias. Desta forma, a varredura completa de grandes áreas torna-se mais rápida e completa, uma vez

que a varredura multifeixe pode permitir o imageamento completo do fundo marinho – o que o ecobatímetro monofeixe não poderá prover, por mais que o espaçamento entre as linhas de sondagem seja minimizado. Pode-se dizer, no entanto, que ambas tecnologias são complementares, embora o ecobatímetro multifeixe seja, claramente, uma evolução do ecobatímetro monofeixe, permitindo a produção de superfícies batimétricas de alta resolução.

Os sistemas acústicos multifeixe adquiridos pela Marinha do Brasil e disponíveis para utilização na região, operam em uma faixa de frequência de 12 kHz a 400 kHz e são capazes de realizar levantamentos batimétricos consistentes e que atendem aos padrões e Ordens de Levantamentos Hidrográficos (LH) especificadas na Publicação Especial S-44 da Organização Hidrográfica Internacional - Especificações da Organização Hidrográfica Internacional para Levantamentos Hidrográficos.

O ecobatímetro multifeixe é indicado para levantamentos onde é necessário um alto nível de detalhamento da superfície do fundo ou uma ensonificação completa do fundo (levantamentos de Ordem Especial – OHI S44, canais de navegação, localização de obstáculos e objetos, instalação de dutos submersos, etc). Desta forma, é apropriado para sondagens de canais de acesso a portos, passagens estreitas e áreas onde a folga abaixo da quilha é pequena.

Para possibilitar a aplicação desta nova tecnologia no Pantanal, a Marinha do Brasil, através do SSN-6, iniciou a realização de sondagens utilizando o ecobatímetro multifeixe EM-2040C *Dual Head*, mostrado na **Figura 3**, adequado à sondagem de águas interiores (rios e lagos), fornecendo uma visão tridimensional e bem precisa do leito do rio. Com isso, os pontos críticos à navegação poderão ser conhecidos com mais exatidão, possibilitando uma representação cartográfica mais fidedigna e a instalação de um balizamento mais eficaz.

O processo de instalação e configuração do ecobatímetro foi acompanhado por dois Oficiais Engenheiros Cartógrafos do SSN-6, em conjunto com representantes da empresa Kongsberg Maritime AS, que alocou dois Engenheiros para esse trabalho, que incluiu o alinhamento geométrico de todos os componentes do sistema, em um processo denominado “definição de *offsets*”.



Figura 3. À esquerda, ecobatímetro multifeixe EM 2040 Kongsberg *dual head*. No centro, lancha de sondagem equipada com o sistema multifeixe. À direita, embarcação de apoio: Navio Hidroceanográfico Fluvial Caravelas.

Fonte: Autor.

4. Resultados e Discussão

Conforme comentado anteriormente, todas as cartas produzidas, até hoje, na Hidrovia do rio Paraguai, utilizaram dados provenientes de ecobatímetros monofeixe. Um exemplo do processamento atualmente realizado encontra-se na **Figura 4**, extraída da análise de um levantamento recebido em maio de 2016 pelo Centro de Hidrografia da Marinha:

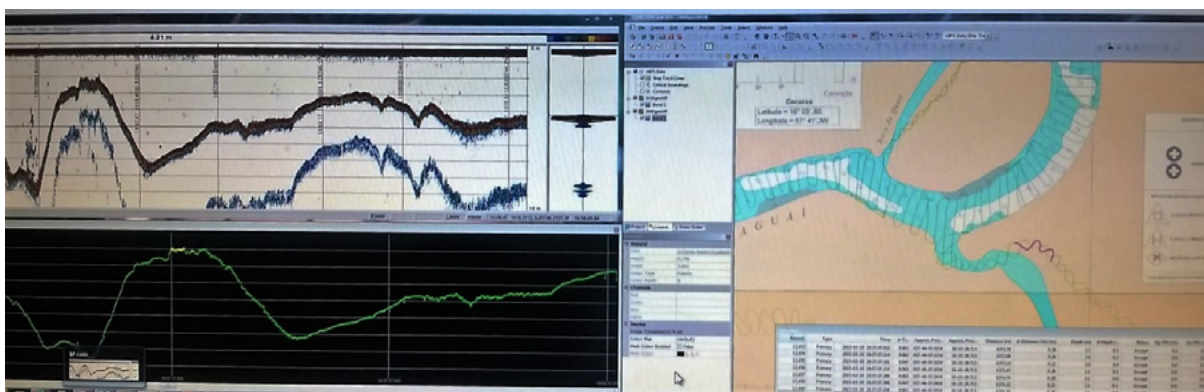


Figura 4. Processamento de sondagem monofeixe a bordo do Centro de Hidrografia da Marinha – Dados da Carta 3441 – Da Cancha Piuvial à Boca do Caiçara.

Fonte: Autor.

Em relação aos levantamentos multifeixe, os mesmos **já foram realizados em aproximadamente** 100 km da calha do rio Paraguai, tendo sido encaminhados para o Centro de Hidrografia, responsável pela construção das cartas náuticas brasileiras, trechos das seguintes cartas náuticas para atualização (situação de MAR2016):

- a) Cartas náuticas completas: 3319, 3332, 3355, 3358, 3433 e 3442. (88 km sondados);
- b) Trechos parciais: 3300, 3301, 3359 e 3366. (4 km sondados); e
- c) Levantamentos em execução: 3395 e 3426. (2 km sondados).

A **Figura 5** mostra uma síntese dos primeiros resultados obtidos com a utilização desta nova tecnologia:

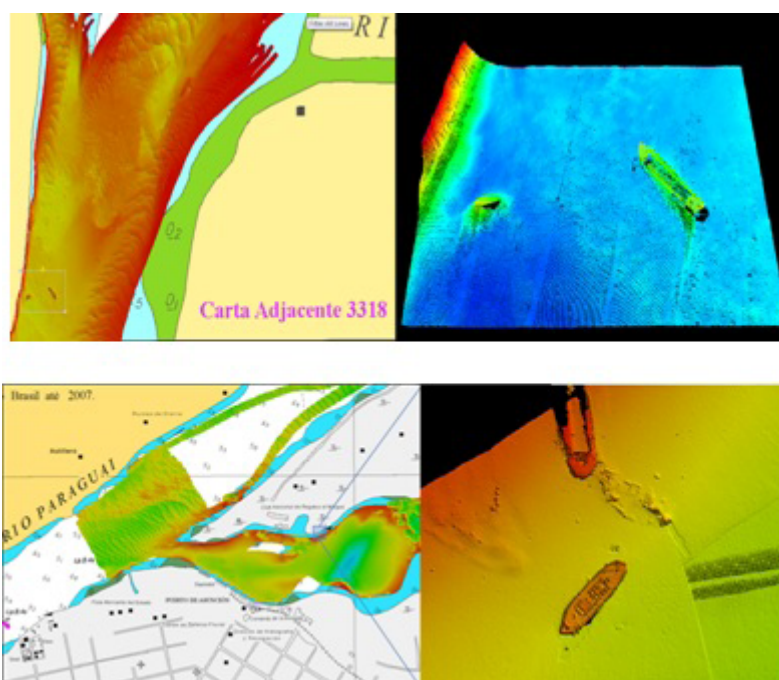


Figura 5. Resultados obtidos com a utilização de ecobatímetros multifeixe: localização de obstáculos no leito do rio Paraguai.

Fonte: Autor.

Os primeiros resultados são animadores. As sondagens realizadas foram capazes de detectar perigos à navegação ainda não cartografados, como cascos afundados e bancos de areia móveis, entre outros obstáculos. Desta forma, a segurança da navegação vem sendo reforçada, à medida que novas sondagens batimétricas são realizadas e novas edições de cartas náuticas publicadas. Embora apenas aproximadamente 10% da Hidrovia do Rio Paraguai tenha sido sondada com esta nova tecnologia, é perceptível o progresso resultante no processo cartográfico.

Ressalta-se que a tecnologia acima descrita não produz danos ao meio ambiente, não tendo sido observado, objetiva e diretamente, casos de mortandade de fauna e flora ocasionados pela exposição às ondas sonoras. Estas ondas não produzem poluição e não influem na qualidade da água de rios, lagos e quaisquer outros corpos d'água em que tenham sido utilizadas.

A utilização da tecnologia multifeixe permitirá, aos meios subordinados ao Serviço de Sinalização Náutica do Oeste e, por conseguinte, à Marinha do Brasil, uma racionalização das sondagens batimétricas executadas no leito do Rio Paraguai, com maior rapidez na execução das mesmas e maior detalhamento do fundo do rio. Obstáculos anteriormente não detectados poderão ser observados, resultando em uma maior confiabilidade das cartas náuticas da região, produzidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha, bem como uma maior segurança da navegação local, objetivo-mor da Cartografia Náutica Brasileira. Com maior segurança para navegar, navios mais carregados – e de maior calado – poderão trafegar no rio Paraguai, impulsionando a economia local. Analogamente, o preço do seguro para o transporte de carga tende a diminuir, reduzindo, assim, o custo Brasil.

5. Conclusões

O presente estudo possui um caráter inovador, uma vez que, embora empresas civis já utilizem esta tecnologia na região, a calha do rio Paraguai ainda não havia sido totalmente sondada, de forma oficial, pela Marinha do Brasil, com esta tecnologia. Desta forma, toda a cartografia náutica oficial da Hidrovia do rio Paraguai será revisitada, aumentando a precisão das informações e melhorando a segurança da navegação em toda a região. O planejamento de levantamentos prevê a cobertura total dos Tramos Norte e Sul do Rio Paraguai, de Ladário a Assunção/PAR, utilizando a tecnologia multifeixe.

Seguindo o sucesso da utilização de ecobatímetros multifeixe, pela Marinha do Brasil, na Hidrovia do rio Paraguai, outras hidrovias serão contempladas com meios equipados com ecobatímetro multifeixe, como as Hidrovias do rio Madeira, Amazonas e Solimões. Com isto, espera-se reduzir o tempo entre atualizações cartográficas subsequentes, cobrindo maiores regiões navegáveis em menor tempo e com maior precisão.

6. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO (ANTAQ). Superintendência de Navegação Interior. **Transporte de Cargas na Hidrovia do Paraguai 2010**. Brasília, 2011. 14p.

_____. Superintendência de Desempenho, Desenvolvimento e Sustentabilidade. **Indicadores de Tonelada Útil (t) e Tonelada por Quilômetro Útil (TKU) do Transporte de Cargas na Navegação Interior e na Cabotagem**. Brasília, 2015. 39p.

MIGUENS, A. P. Navegação: A Ciência e A Arte, Volume III–Navegação Eletrônica e em Condições Especiais. **Manual de Navegação, DHN**, 1996.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (MT). **Relatório de Diagnóstico e Avaliação do Plano Hidroviário Estratégico**. Brasília, 2013. 861 p.