Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas em tempo real (SISMO®) Porto de Ponta da Madeira

***Meteo-oceanographics Information System in Realtime
(SISMO®) Port of Ponta da Madeira***

***Sistema de Información Meteo-Oceanográfica en tiempo
real (SISMO®) Puerto de Punta de Madera***

ALEXANDRE DE CAROLI
Graduado e Mestre em Oceanografia

ADRIENE FERREIRA PEREIRA
Graduada, Mestre e Doutora em Oceanografia

GABRIEL ALOI PASCHOAL
Graduado em Oceanografia

DANIELLY DELPUPO
Graduada em Oceanografia e Mestre em Geologia e Geofísica Marinha

RESUMO O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM da Vale está localizado na Baía de São Marcos, em São Luís (MA). Essa região apresenta amplitudes de marés de até 7,2 m e intensas correntes associadas. Para aumentar a segurança da navegação e registrar janelas operacionais com maior precisão, a HidroMares instalou o Sistema de Informações Meteo-oceanográficas em Tempo Real (SISMO®) em dois pontos do Terminal em janeiro de 2018. Esse sistema monitora continuamente a intensidade e a direção das correntes, bem como a variação do nível do mar, transmitindo dados processados e avaliados a cada cinco minutos. As informações são disponibilizadas por portal de visualização, via página HTML e por aplicativo para *smartphones* e *tablets*. Os dados coletados também são armazenados em banco de dados, possibilitando sua posterior análise temporal para caracterização da hidrodinâmica no TMPM e definição de janelas operacionais mais precisas.

PALAVRA-CHAVE: MONITORAMENTO OCEANOGRÁFICO. SEGURANÇA. JANELA OPERACIONAL. TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA.

ABSTRACT The Maritime Terminal of Ponta da Madeira – TMPM, owned by Vale, is located at São Marcos Bay in São Luís (MA). The region presents a tidal range up to 7.2 m and intense sea currents associated. To increase the safety navigation and to fix more precisely operational windows, the HidroMares implemented in January, 2018, a Meteo-Oceanographic Information System in Real Time (SISMO®) in two points in TMPM. This system monitors continually the intensity and currents direction and the sea level variations with the processed and evaluated data transmitted each five minutes. The information is available in a portal, via HTML page and by applicative to *smartphones* and *tablets*. The data gathered are stored in a data bank, to enable, later time series analysis to know the TMPM hydrodynamics and more precise operational windows definition.

KEYWORDS: OCEANOGRAPHIC MONITORING. SAFETY. PRODUCTIVITY. OPERATIONAL WINDOW. MARITIME TERMINAL OF PONTA DA MADEIRA.

RESUMEN Lo Terminal Marítima de Ponta da Madeira - TMPM de la Vale está ubicada en la Bahía de San Marcos, en São Luís (MA). Esta región presenta amplitudes de mareas de hasta 7,2 m e intensas corrientes asociadas. Para aumentar la seguridad de la navegación y registrar ventanas operativas con mayor precisión, HidroMares instaló el sistema de información meteorológica en tiempo real (SISMO®) en dos puntos de la Terminal en enero de 2018. Este sistema monitorea continuamente la intensidad y la dirección de las corrientes, así como la variación del nivel del mar, transmitiendo datos procesados y evaluados cada cinco minutos. La información está disponible por portal de visualización, vía página HTML y por aplicación para smartphones y tablets. Los datos recolectados también se almacenan en base de datos, posibilitando su posterior análisis temporal para caracterización de la hidrodinámica en el TMPM y definición de ventanas operativas más precisas.

PALABRA CLAVE: MONITOREO OCEANOGRÁFICO. SEGURIDAD. VENTANA OPERATIVA. TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA.

1. INTRODUÇÃO

O Golfão Maranhense é a região do Brasil com as maiores amplitudes de maré observadas. Localizado no Estado do Maranhão, é caracterizado como um complexo estuarino onde deságuam afluentes dos rios Mearim, Itapecuru e Munim entre outros (El-ROBRINI et al., 2015) e no qual está inserida a Baía de São Marcos. Nessa baía, está situada a Área Portuária da Ilha de São Luís, o segundo maior complexo portuário da América Latina e um dos maiores do mundo em movimentação de carga (GARCIA, 2007; AMARAL & ALFREDINI, 2010). Vários terminais portuários estão instalados na área, entre eles, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) da Vale S.A. (Figura 1), um grande exportador de minérios de ferro e manganês.

Figura 2 – Movimentação de cargas no TMAPM.

Fonte: ANTAQ <https://webportos.labtrans.ufsc.br/Tup/Index/53>. Acessado em 08/05/2018.

Este trabalho apresenta o estudo de caso da implementação do monitoramento oceanográfico em tempo real no TMAPM e os primeiros resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados.

2. CASO

A HidroMares – Assessoria Ambiental & Oceanografia – foi fundada em 2002, na incubadora de empresas da Universidade de São Paulo. Em 2006, teve aberta sua sede em Santos, Estado de São Paulo. O grupo HidroMares é formado por duas empresas: a primeira (HidroMares Projetos), de prestação de serviços; a segunda (HidroMares Equipamentos), de importação e venda de equipamentos meteo-oceanográficos. Dessa forma, a HidroMares Projetos presta serviços na área de ciências aquáticas (oceanografia e limnologia) e atmosféricas (meteorologia), tendo capacidade de atuar em corpos d'água interiores, bem como, em zonas estuarinas, costeiras e oceânicas, na:

- Aquisição e análise de dados meteo-oceanográficos ou limnológicos físicos, químicos, geológicos e biológicos;
- Simulações matemáticas de processos físicos, químicos, geológicos e biológicos utilizando modelos numéricos: qualidade de água, dispersão de manchas de óleo, transporte de sedimentos, por exemplo;
- Monitoramento de parâmetros ambientais (direção e intensidade de correntes, altura e período de ondas, por exemplo) utilizando estações autônomas e transmissão de

dados em tempo real, por meio de nosso produto SISMO® (Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas em Tempo Real), e

- d) Diagnóstico e previsão ambiental, fornecendo análise detalhada de questões ambientais, incluindo análises de extremos, estudos de casos e formas de mitigação.

A HidroMares Equipamentos possui a representação comercial de várias renomadas marcas internacionais de equipamentos meteo-oceanográficos, tendo capacidade de realizar a importação e a nacionalização dos equipamentos comercializados. A proximidade com esses fornecedores contribui para o treinamento e atualização contínua da equipe, além de possibilitar o rápido atendimento, por parte desses fornecedores, a solicitações da HidroMares, importantes pontos para o SISMO®.

Atualmente, a empresa possui cerca de trinta estações de monitoramento meteo-oceanográficas instaladas em portos e terminais distribuídos ao longo da costa brasileira, entre os Estados de Pará e Paraná. A implementação do SISMO® no TMPM, denominado SISMO®ValePDM, representou a primeira instalação no Estado do Maranhão.

3. ESCOPO

A grande variação das marés e as intensas correntes associadas restringem os períodos adequados para as manobras de embarcações na Baía de São Marcos. Por exemplo, a demanda do Porto de São Luís só pode ser feita à luz do dia e nas proximidades da preamar (Transpetro, 2006). Padrões similares também são aplicados para o TMPM. Entretanto, lá, manobras noturnas podem ser realizadas, bem como, durante baixa-mares.

Com o objetivo de melhor caracterizar as janelas operacionais, bem como, investigar a possibilidade de estender ou até aumentar o número delas no TMPM, a coleta de dados oceanográficos na área próximo ao Terminal é fundamental. A disponibilização desses dados em tempo real permite o seu uso durante as operações, inclusive contribuindo para tomadas de decisão, e o seu arquivamento permite a formação de um banco de dados, importante para condução de análises posteriores para compreensão da hidrodinâmica local e sua variabilidade espaço temporal.

4. MÉTODO

Instalado em janeiro de 2018, o SISMO®ValePDM é formado por duas estações oceanográficas (Figura 3). Cada estação oceanográfica é equipada com um perfilador acústico de correntes horizontal (ADCP), modelo SL500, marca SonTek (Figura 4). Esse equipamento mostra dados de intensidade e direção das correntes ao longo de uma seção horizontal com extensão de até 120 m a partir do ponto de instalação do sensor (Figura 5), sendo, assim, capazes de observar variações espaciais da intensidade e direção das correntes.

Cada ADCP é também equipado com um sensor de pressão e um transdutor vertical para monitoramento do nível do mar. Os ADCPs estão instalados no píer IV Norte do Terminal da Ponta da Madeira, nos dolphins 15 (norte) e 08 (central), respectivamente, a uma profundidade aproximada de 6 m (em referência ao zero hidrográfico), voltados para o canal de navegação (Figura 3). Estão configurados para operar com 6 células de 20 m cada, dispostas transversalmente ao píer.

Figura 3 – Localização das estações oceanográficas (denominadas HMPDMDOLFIM15 e HMPDMDOLFIM08, respectivamente) e maregráfica (HMPDMDTIME) no píer IV Norte do Terminal da Ponta da Madeira. As linhas indicam a extensão dos feixes acústicos para medição de correntes nos dolfin 15 e 08.

Figura 4 – Perfilador horizontal acústico de correntes instalado no TPM.

Figura 5 – Esquema de instalação e funcionamento do SL500, da SonTek. Na figura, é representada, esquematicamente, a medição de correntes feita pelos feixes horizontais ao longo de 10 células ao mesmo tempo. Também está representado o feixe vertical que fornece a distância do equipamento em relação à superfície do mar.

Fonte: SonTek.

Ressalta-se aqui que, entre os ADCP's horizontais existentes no mercado, o ADCP da SonTek é o equipamento mais adequado para medição das correntes em regiões criticamente rasas (POLONICHKO e ROMEO, 2007; VELASCO e POLONICHKO, 2007). Os transdutores acústicos foram desenvolvidos por meio de uma técnica para supressão do efeito conhecido como *side lobe*. Essa técnica faz que o equipamento tenha o maior alcance horizontal para medição das correntes, quando colocado em regiões criticamente rasas, diminuindo a interferência do reflexo acústico da superfície.

Além das estações oceanográficas, compõe o SISMO®ValePDM a transmissão dos dados de nível do mar da estação maregráfica mantida pela Vale, instalada nas proximidades da ponte de acesso ao Píer IV Norte (Figura 3).

Os dados coletados por esses sensores, após transmitidos, são recebidos em servidores em nuvem. Nesse momento, os dados são processados e avaliados pelo **sismoDQ®**: software de avaliação da qualidade dos dados desenvolvido pela HidroMares. Dessa forma, apenas os dados avaliados de alta qualidade são disponibilizados para visualização para os clientes, garantindo tomadas de decisão ancoradas em dados confiáveis.

Após o processamento e avaliação, os dados são disponibilizados para visualização tanto na Área do Cliente SISMO®, denominada SISMO®Web e localizada no site da HidroMares (Figura 6 e Figura 7), como em aplicativos para smartphones (Figura 8). Dados brutos e processados são armazenados em nossos servidores de acordo com as necessidades de cada cliente. Estes ficam disponíveis para livre acesso dos clientes por meio do SISMO®Web (Figura 6). Por solicitação da Associação dos Práticos do Estado do Maranhão, os dados amostrados também são disponibilizados para visualização em plataforma própria da Associação.

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir da análise dos dados amostrados e processados para o período compreendido entre 1º. de fevereiro e 30 de abril de 2018.

Figura 6 – Conteúdo interno do SISMO®ValePDM no SISMO®Web.

Figura 7 – Página visualização de dados do SISMO®ValePDM no SISMO®Web.

Figura 8 – Exemplos de visualizações dos dados SISMO®ValePDM no SISMO® App.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 9 apresenta a variação do nível do mar observada pelo marégrafo do TMPM. Note que a variação do nível do mar apresenta padrão semidiurno, com a modulação referente às marés de quadratura e de sizígia. Os níveis médio, máximo e mínimo analisados no perío-

do foram iguais a 3,20 m, 6,51 m e -0,09 m, respectivamente (Tabela 1). A Figura 9 também compara a variação do nível do mar observada e aquela prevista pela maré astronômica por intermédio da suíte de processamentos t_tide (PAWLOWICZ et al., 2002). Verifica-se que as séries temporais são similares, indicando que a maior variabilidade do nível do mar no TMPM está associada às marés, tendo pouca influência dos ventos e/ou pressão atmosférica. A Tabela 2 apresenta amplitude e fase das constantes harmônicas obtidas após análise harmônica da série temporal dos dados de nível do mar. As componentes principais são as semidiurnas M_2 e S_2 com amplitude igual a 2,12 m e 0,68 m, respectivamente. Resultados obtidos para o dolfin 08 e 15 foram muito similares.

Figura 9 – Série temporal de elevação do nível do mar (m) observada (preto) e prevista pela maré astronômica (vermelho) para o período analisado.

Tabela 1 – Valores médio (m), máximo (m), mínimo (m), desvio padrão (m) e variância (m^2) dos dados de variação do nível do mar, observados no dolfin 08 do TMPM.

Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão	Variância
3,20	6,51	-0,09	1,66	2,75

Tabela 2 – Amplitude (m) e fase (graus) das principais componentes de maré.

Componente	Amplitude	Fase	Componente	Amplitude	Fase
O_1	0,1133	215,01°	N_2	0,3276	183,42°
NO_1	0,1313	313,24°	M_2	2,1269	200,60°
K_1	0,0698	254,05°	S_2	0,6822	241,25°

As correntes observadas tanto no dolfim 15 quanto no dolfim 08 são apresentadas na Figura 10 e na Figura 11, respectivamente, na forma de gráfico tipo palito (*stickplot*). No eixo principal, estão indicadas as distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer. Nos dois pontos de observação, é evidente a variação da intensidade e da direção das correntes nos períodos de enchente e vazante e sizígia e quadratura.

A análise estatística desses dados demonstra que as correntes tendem a ser um pouco mais intensas mais próximo do dolfim 15 do que no dolfim 08, exceto na célula de amostragem localizada a 120 m (Tabela 3): a 100 m de distância do píer, as correntes máximas observadas nos dolfin 15 e 08 tiveram valor de 4,65 nós e 4,28 nós, respectivamente. Isso ocorre devido à presença constante de navios atracados ao sul do dolfim 08, diferente do que acontece no dolfim 15. Ao largo (120 m de distância) a diferença na intensidade das correntes, entre ambos os dolfin é menor, inclusive com valores médios maiores para o dolfim 08 (1,76 nós) com relação ao dolfim 15 (1,65 nós).

Figura 10 – Diagrama tipo gráfico palito dos dados de corrente amostrados no dolfim 15. A escala (nós) está indicada no canto superior esquerdo da figura. Eixo das abscissas: tempo, em dias. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer: 20, 60 e 120 m, respectivamente.

Figura 11 – Diagrama tipo gráfico palito dos dados de corrente amostrados no dolfim 08. A escala (nós) está indicada no canto superior esquerdo da figura. Eixo das abscissas: tempo, em dias. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer: 20, 60 e 120 m, respectivamente.

Tabela 3 – Velocidades média (nós) e máxima (nós) observadas nos dolfins 08 e 15 do TMPM.

Dolfim 08			Dolfim 15		
Distância do píer (m)	Vel. Média (nós)	Vel. Máxima (nós)	Distância do píer (m)	Vel. Média (nós)	Vel. Máxima (nós)
20,00	1,05	3,89	20,00	1,66	4,01
40,00	1,16	4,09	40,00	1,75	4,11
60,00	1,28	4,21	60,00	1,87	4,25
80,00	1,46	4,21	80,00	1,92	4,34
100,00	1,77	4,28	100,00	1,91	4,65
120,00	1,76	4,85	120,00	1,65	4,54

Atualmente, manobras com embarcações são realizadas a partir da análise da previsão da tábua de marés para a região, assumindo a seguinte janela de operação: entre 2 horas antes e 15 minutos depois da preamar e entre o momento da baixa-mar até 2 horas depois desse instante. Na Figura 12 e Figura 13, estão exemplificadas as condições hidrodinâmicas ao longo de 24 horas em maré de quadratura, no dolfim 08, e em maré de sizígia, no dolfim 15, respectivamente. Em cada gráfico, a janela de operação está marcada conforme a regra vigente para preamar e baixa-mar.

A análise preliminar dos dados apresentados na Figura 12 indica que a janela de operação poderia ser maior tanto na preamar quanto na baixa-mar da maré de quadratura. Note que as condições de intensidade e direção das correntes observadas 2 horas antes da segunda preamar do dia já eram similares há cerca de 4 horas. No caso da baixa-mar, a janela de operação que se encerrou por volta das 11h poderia ter sido estendida até às 16h, adotando apenas premissas das condições hidrodinâmicas. No período de sizigia (Figura 13), a expansão da janela de operação não é tão evidente neste exemplo.

Figura 12 – Variação do nível do mar (m, gráfico superior), intensidade (nós, gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) ao longo de 24 horas, observada a 120 m de distância do dolfin 08 do TPM, em 10/02/2018, durante maré de quadratura. Em vermelho e em verde, estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul.

Figura 13 – Variação do nível do mar (m, gráfico superior), intensidade (nós, gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) ao longo de 24 horas, observada a 120 m de distância do dolfim 15 do TMPM, em 01/02/2018, durante maré de sizígia. Em vermelho e em verde, estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com ampla variação de maré e intensas correntes, manobras de embarcações na Baía de São Marcos se restringem a curtas janelas temporais, nas quais condições hidrodinâmicas mais seguras são esperadas, reduzindo de forma significativa o tempo disponível para operação. Por isso, a instalação de equipamentos para coleta de dados oceanográficos com monitoramento em tempo real, como implementado pela Vale no TMPM e arquivamento dos dados observados para posterior análise, pode contribuir com o estudo da variabilidade temporal das correntes e do nível do mar a fim de ampliar os períodos seguros para manobras.

A análise preliminar dos dados de intensidade e direção de correntes observados até o momento no TMPM indica que seria possível aumentar a janela de operação em até 4–5 horas em cada preamar e baixa-mar de marés de quadratura com base exclusivamente nas condições hidrodinâmicas reinantes em cada período. A continuação desse monitoramento propiciará a formação de um banco com longas séries temporais de dados, os quais poderão ser analisados para definir de forma precisa janelas de operação para o terminal.

Agradecimentos

Agradecemos à Vale S.A. pela permissão de uso dos dados para análise e apresentação e à APEM pelas informações trocadas durante o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. F. **Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 139 p., 1996.

AMARAL, R. F.; ALFREDINI, P. Modelação hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 5-14, 2010.

CHAGAS, F. M. **Dinâmica de ondas de areia na Baía de São Marcos (Ponta da Madeira/MA): observações e modelagem numérica**. Diss. Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 78 p., 2013.

ELROBRINI, M.; MARQUES, J. V.; SILVA, M. M. A.; EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S.; VIANA, J. S. Maranhão. In: Muehe, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro: Maranhão**. Brasília, MMA, 2006. Acessado em: 08/05/2018.

GARCIA, P. D. **Caracterização hidrossedimentológica das correntes de maré e do transporte de sedimentos associado à área portuária do Maranhão**, 2007, 258 p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. **Computers and Geosciences**, 28, p., 929937, 2002.

PEREIRA, J. E. R.; HARARI, J. Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão. **Bol. Inst. Oceanogr.**, v. 43, n. 1, p. 11-26, 1995.

POLONICHKO, V.; ROMEO, J. Effects of transducer geometry and beam spreading on acoustic Doppler velocity measurements near boundaries, **OCEANS**, 2007, p. 16, Sep. 29, 2007-Oct. 4, 2007, doi: 10.1109/OCEANS.2007.4449128

TRANSPETRO. **Informações portuárias**. Terminal São Luís, 1. ed., 62 p., 2006.

VELASCO, D.; POLONICHKO, V. Current, wave and tidal observations from a horizontal acoustic doppler profiler installed on Scripps pier in La Jolla, California, USA. In: **Proceedings of the 5th Coastal Structures International Conference**, CSt07, p. 1-12, 2007.

Submetido em: 6-9-2018

Aceito em: 7-11-2018