Disseminação de informações ambientais para *stakeholders* através da implantação de sistema de base dados e modelos numéricos de alta resolução na Bacia Hidrográfica do Estuário de Santos-São Vicente*

Alexandra Franciscatto Penteado Sampaio[1], Renan Braga Ribeiro[2], Matheus Souza Ruiz[3], Fabio Giordano[4]

[1]NPH-Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas / Faculdade de Engenharia da UNISANTA/ Câmara Técnica de Saneamento e Usos Múltiplos do Comitê de Bacias da Hidrográficas da Baixada Santista
[2]PPG-Mestrado em Auditoria Ambiental UNISANTA / NPH-Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas / Câmara Técnica de Planejamento do Comitê de Bacias da Hidrográficas da Baixada Santista
[3]NPH-Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas / Faculdade de Engenharia da UNISANTA
[4]PPG-Mestrado em Ecologia UNISANTA / Câmara Técnica de Educação Ambiental e Divulgação do Comitê de Bacias da Hidrográficas da Baixada Santista
*Trabalhos financiados pelo FEHIDRO e pela Universidade Santa Cecília – Santos SP
Email: nph@unisanta.br

Resumo

O Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas da Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília executa serviços e pesquisas na área de modelagem numérica há 20 anos, com especial destaque para a produção de conhecimento e apoio aos stakeholders que atuam na região da Baixada Santista. Atualmente, operando um sistema de modelos de alta resolução em modo operacional, que inclui um conjunto de softwares, entre eles o *Mohid* e a plataforma *AquaSafe*, conta com a parceria e o intercâmbio de informações de diferentes órgãos governamentais, instituições de pesquisa e empresas, que em contrapartida fazem uso dos dados oriundos das previsões hidrodinâmicas e de qualidade da água que o sistema oferece. Além disso, a plataforma implantada com o apoio do CBH-BS e do FEHIDRO, está configurada para emitir boletins diários e alertas das condições hidrodinâmicas e ambientais do Estuário de Santos – São Vicente que incluem a previsão do nível do mar, da agitação marítima, correntes e qualidade das águas em diferentes pontos, permitindo prever com até 5 dias de antecedência a ocorrência de ressacas e de eventos críticos para a navegação de grande porte, a qualidade microbiológica das águas costeiras e interiores, entre outros. Complementarmente, dois outros projetos estão em andamento para instalação de três estações fluviométricas e pluviométricas nesta bacia hidrográfica com o apoio do FEHIDRO. Desta forma, este trabalho se destaca pela implementação de uma infraestrutura complexa em funcionamento, pela sua confiabilidade avaliada de forma contínua desde 2015, pela personalização do sistema à necessidade dos utilizadores e pelas diferentes formas de interação com gestores locais. A disseminação diária de boletins e o acesso contínuo ao sistema de informações, permitiu, nos últimos anos, o apoio às Defesas Civis municipais nas ocorrências de alagamentos, inundações e em eventos de ressacas, o apoio na operação e manutenção das redes de macrodrenagem, na manobra de navios com limitações de calado na área portuária, em emergências, entre outras situações onde essas informações ambientais são importantes para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Modelagem operacional. Monitoramento fluviométrico. *AquaSafe*. Sistema de suporte à decisão. CBH-BS.

Abstract

The Hydrodynamic Research Center of the Faculty of Engineer of University Santa Cecília has carried out services and research in the field of numerical modelling for 20 years, with emphasis on the production of knowledge and support to local stakeholders in the region of Baixada Santista. Currently, operating a system of high resolution models in operational mode that includes a set of software, among them Mohid and AquaSafe platform, rely on the partnership and information exchange among different governmental organs, research institutes and companies, which in turn use the data derived from local hydrodynamic and water quality forecasts that the system offers. The platform implanted with the support of CBH-BS and FEHIDRO is configured to send daily reports and warning bulletins of hydrodynamic conditions of the Santos – São Vicente Estuary, including the sea level, waves, currents and water quality forecasts in different locations. At this sense, allowing predictions five days in advance, the occurrence of storm surges and critical events for large vessels navigation, the microbiological quality of inland and coastal waters, among other needs. In addition, two other projects for installation of three fluviometric stations and three rain gauges in this watershed are in progress, also with the support of FEHIDRO. Therefore this work stands out for the implementation of a complex infrastructure, for its reliability evaluated continuously since 2015, for the customization of the system to the needs of users and for the different forms of interaction with local stakeholders. The dissemination of daily bulletins and the continuous access to the information system in useful format allowed, in recent years, the support to municipal Civil Defense offices in the occurrence of floods and in storm surge events, the support in the operation and maintenance of macro drainage networks, in the maneuver of vessels with limited draft in the port area, in emergencies, among other situations where this environmental information is important for decision-making.

Keywords: Operational modelling. Fluviometric monitoring. *AquaSafe.* Decision support system. CBH-BS

1 Introdução

O Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas (NPH-UNISANTA) é um laboratório de modelagem numérica associado a Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília na cidade de Santos – SP, que desde 1998 presta serviços à comunidade e desenvolve pesquisas no intuito de formar alunos de graduação e de pós-graduação nesta área acadêmica do conhecimento humano.

Operando sistemas complexos de simulações numéricas, se desenvolveu a partir de trabalhos em parceria com instituições de pesquisa nacionais e estrangeiras, destacando sobretudo a parceria com o Instituto Superior Técnico (IST) e uma de suas *spinoff*, a Hidromod, ambas portuguesas (LEITÃO et al., 2015).

Ao longo de duas décadas de atividades na área costeira de Santos, reuniu uma base de dados históricos com especial destaque para o Porto de Santos, desenvolvendo pesquisas relacionadas a dragagem do canal de navegação. Entre 2004 e 2010, ao integrar um grande projeto de pesquisa financiado pela Comunidade Europeia em conjunto com 10 Universidades e Institutos de Pesquisas de 6 países (Projeto ECOMANAGE), desenvolveu estudos para a melhor compreensão dos impactos da atividade humana em função dos padrões de circulação do estuário de Santos – São Vicente (CAMPUZANO et al., 2013), reunindo elementos acerca dos aspectos relacionados à modelagem hidrodinâmica e da dispersão de esgoto sanitário e poluição difusa (SAMPAIO et al., 2008; RIBEIRO et al., 2013).

Atualmente conta com importantes apoios e parcerias, entre eles: Prefeitura de Santos, Praticagem de São Paulo, Tanque de Provas Numérico da Universidade de São Paulo (TPN-USP), Argonáutica Engenharia e Pesquisas, Centro de Gestão de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (CGPDI), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Petrobras, Marinha do Brasil e Hidromod que oportunizam a troca de informações e o aprimoramento de tecnologias e pesquisas relativas as condições meteoceanográficas, drenagem, dispersão de efluentes, transporte de sedimentos, entre outros (RIBEIRO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016; RUIZ et al., 2016; SAMPAIO et al., 2016; RIBEIRO et al., 2017).

Desde 2013, o NPH-UNISANTA desenvolve projetos voltados à gestão integrada dos recursos hídricos na Baixada Santista, com apoio do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBH-BS) e do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO). Esta comunicação apresenta três desses trabalhos que estão focados na disseminação de informações ambientais para os stakeholders, com destaque para o projeto concluído em 2018.

2 Projeto concluído: Sistema de monitoramento e previsão da qualidade da água por meio de modelagem numérica ambiental e desenvolvimento de base de dados na Bacia Hidrográfica do Estuário de Santos – São Vicente

Com início em 2014 e término em março de 2018, o projeto teve por objetivo o desenvolvimento de uma plataforma operacional que contou com o estabelecimento de uma base de dados regional e de modelagem numérica operacional, com a finalidade de desenvolver capacidades de diagnóstico e prognóstico através de ferramentas de simulação matemática na Bacia Hidrográfica do Estuário de Santos – São Vicente,

implantação de sistemas automáticos de alertas com base em previsão da hidrodinâmica e da contaminação microbiológica das águas em função das variáveis intervenientes no sistema, e a manutenção de canais eficazes de comunicação com os principais gestores locais, entre eles prefeituras locais e órgãos do estado.

2.1 Sistema e arquitetura da plataforma AquaSafe Santos

O projeto contou com a implantação e desenvolvimento do Sistema AquaSafe para Santos, uma plataforma automatizada com uma infraestrutura complexa de serviços que inclui previsões através de modelos numéricos de alta resolução para a região da bacia hidrográfica do Estuário de Santos – São Vicente, com especial enfoque na prevenção de eventos que trazem risco para a população, incluindo eventos meteoceanográficos extremos, contaminação hídrica, descargas de rios, sistemas de drenagem urbana ou de tratamento de águas residuais. Seu funcionamento inclui a implantação e a automatização de diferentes escalas de modelos de previsão meteoceanográficos, a importação e formatação adequada de diferentes fontes de dados e a geração e disseminação de relatórios periódicos e de alertas de acordo com as necessidades específicas dos *stakeholders* locais que atualmente fazem uso da plataforma.

A plataforma AquaSafe é baseada numa filosofia Cliente-Servidor sendo assim composta por duas componentes principais: AquaSafe *Server* e AquaSafe *Client*. O AquaSafe *Server* permite armazenar e indexar dados gerados internamente pelo sistema (modelos) ou através de ligações externas (e.g. FTP, Open DAP, *web services*). Além do papel de distribuidor de dados, permite agendar uma grande diversidade de tarefas como correr cadeias de modelos, criar relatórios, etc. (LEITÃO et al., 2015)

Na Baixada Santista atualmente existem mais de dez usuários AquaSafe *Client* focados em diferentes tipos de utilização (e.g. modelador, operador, público em geral) e plataforma tecnológica (desktop), sendo cinco usuários focados nos resultados da simulação de eventos extremos de nível do mar e ondas, outros dois usuários focados nos resultados da previsão de descargas de contaminação fecal e um terceiro usuário focado nos resultados da previsão hidrodinâmica associada à atividade portuária.

2.2 Consolidação da base de dados no AquaSafe Santos

A plataforma AquaSafe funciona como agregador de dados históricos e em tempo real (Figura 1), medidos ou resultantes de simulações numéricas, de fontes externas ou internas, e atualmente conta com as seguintes fontes de dados que são atualizadas permanentemente:

2.2.1 Fontes de dados externos em Tempo Real

- 39 Pluviômetros - CEMADEN
- 5 Estações Meteorológicas – Praticagem de Santos
- 1 Estação Meteorológica – Base Aérea de Santos
- 5 Estações Maregráficas – Praticagem de Santos
- 4 Estações Marégraficas - Rede Gloss
- 4 Estações Oceanográficas – Praticagem de Santos

- 1 Bóia Ondógrafo – Praticagem de Santos
- 3 Modelos Meteorológicos (NOAA e CPTEC)
- 1 Radar São Roque – CPTEC
- 3 Modelos Oceanográficos Globais (Hidrodinâmicos e Ondas)

2.2.2 Fontes de dados externos históricos

- 37 Pontos Balneabilidade – CETESB
- 07 Pontos Balneabilidade – PMSantos
- 16 Pontos Qualidade de água rios – CETESB
- 27 Pontos Qualidade de água costeira – CETESB

2.2.3 Fontes de dados próprios – Tempo Real

- 3 Grades Modelo de Ondas
- 3 Modelos Hidrodinâmicos (4 grades cada)

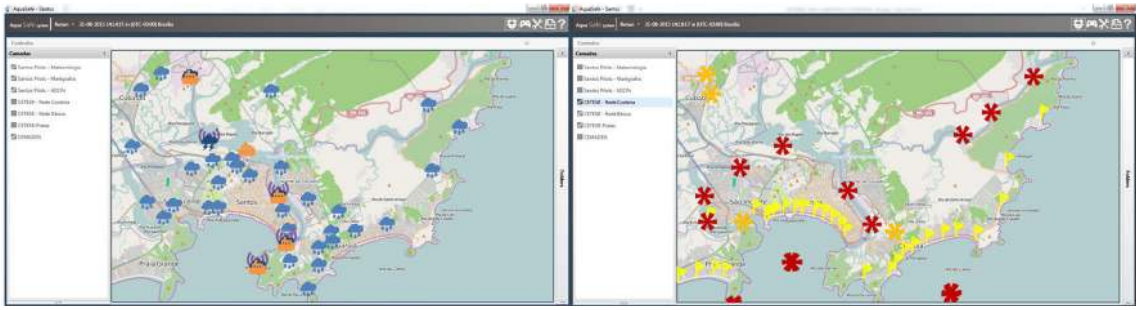

Figura 1. Localização das estações de coleta de dados em tempo real (à esquerda) e de dados de dados históricos (à direita).

2.3 Implantação e validação de modelos numéricos de alta resolução

O AquaSafe Santos utiliza uma grande variedade de modelos numéricos (SWAN, WaveWatch III MOHID *Water*). Os modelos de ondas WaveWatch III e SWAN funcionam utilizando uma cadeia de modelos encaixados que permite simular com detalhe a agitação marítima na escala da Baía de Santos, sendo assim importantes para avaliação de impacto nas estruturas da cidade e também na operação portuária. Em termos de forçamento atmosférico esse sistema é forçado com resultados do GFS (*Global Forecast System*) e do modelo ETA/CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). A simulação da hidrodinâmica e da qualidade da água (indicadores fecais) é realizada com o sistema de modelos MOHID *Water*. Para a qualidade da água existem duas escalas de interesse: escala das águas interiores do estuário e praias. Na escala das praias são simulados quatro cenários de descarga da vazão dos canais de drenagem na praia de forma a suportar futuramente as ações de abertura/fechamento das comportas da rede de macrodrenagem de Santos que permitam ao mesmo tempo minimizar os impactos

relativos a inundações e à contaminação fecal na praia (LEITÃO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017).

A calibração do modelo hidrodinâmico e de agitação marítima se deu a partir de dados de nível do mar fornecidos pela Praticagem de São Paulo, conforme descrito por Ribeiro et al. (2016). Após a calibração, o sistema de modelos passou a ser executado operacionalmente através da plataforma AquaSafe Santos. Além disso, através da plataforma, um relatório de validação é emitido semanalmente, comparando os resultados dos modelos hidrodinâmicos e de agitação marítima com os dados coletados pelas estações da Praticagem de São Paulo (Figura 3).

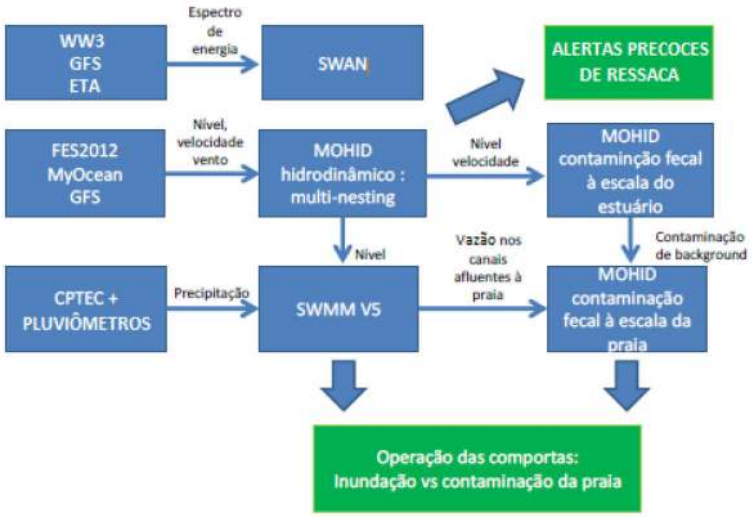

Figura 2. Cadeia de modelos automatizados pela plataforma AquaSafe Santos.
Fonte: Leitão et al. (2015)

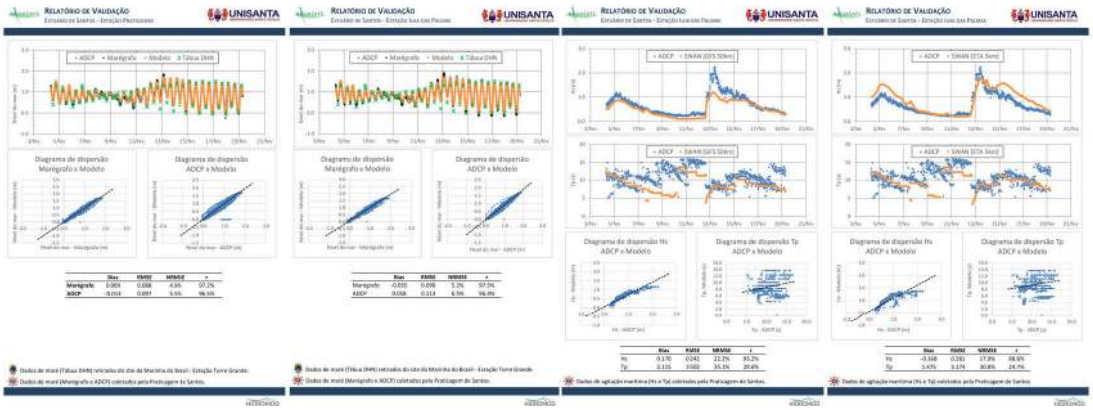

Figura 3. Relatório automático semanal de validação dos resultados dos modelos hidrodinâmico e de agitação marítima.

2.4 Disseminação dos resultados e alertas para a população

O principal objetivo da implantação da plataforma AquaSafe no Estuário de Santos-São Vicente foi auxiliar os atores locais a terem operações mais eficientes e seguras (e.g. abertura de comportas da rede de drenagem, programas de monitoramento da qualidade da água e alertas precoces de ressacas para a comunidade, este último alcançando grande

repercussão local nos anos de 2016 e 2017). Para essa finalidade foi feito um trabalho de divulgação, formação, suporte e monitoramento junto a área técnica da Prefeitura de Santos e sua equipe de Defesa Civil, bem como para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (SABESP) que receberam a instalação do AquaSafe C*lient* na sua versão desktop.

A versão cliente desktop tem uma grande variedade de soluções e permite aos usuários visualizar em tempo real os dados na forma de gráficos de séries temporais (Figura 4), mapas (Figura 5) e mostradores.

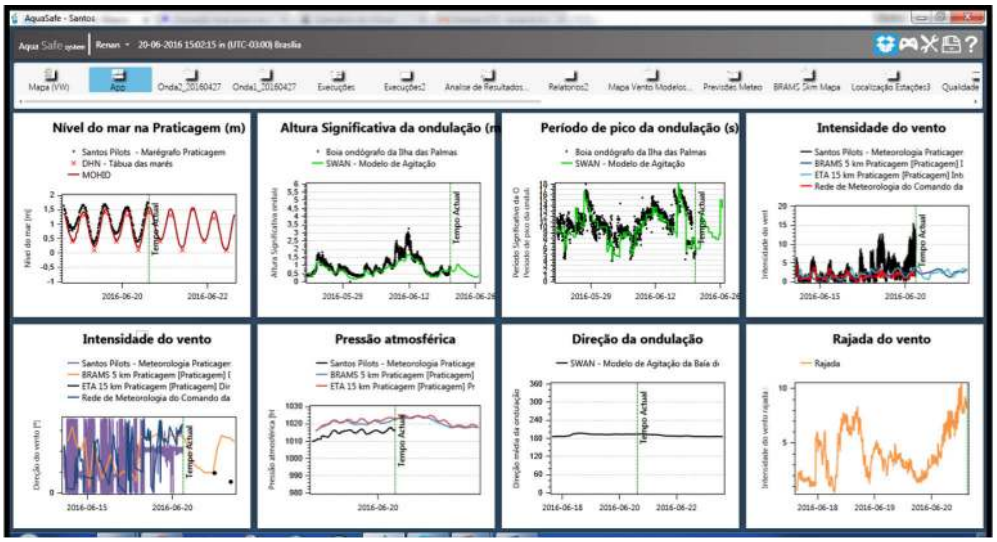

Figura 4. Espaços de trabalho na AquaSafe Santos em formato de gráficos.



Figura 5. Espaços de trabalho na AquaSafe Santos em formato de mapa.

Também há a possibilidade de customizar os espaços de trabalho da plataforma criando novos alertas ou gerando novas séries temporais resultante da combinação de séries temporais medidas ou simuladas, podendo ainda ser disseminados via relatórios gerados e enviados por e-mail de forma automática (Figura 6).

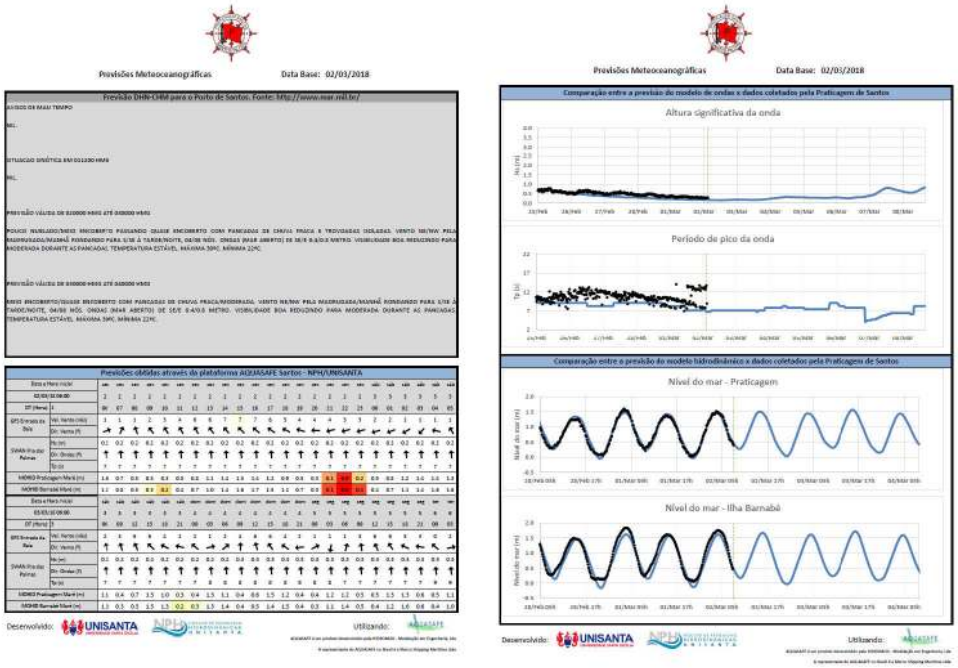

Figura 6. Boletim diário automático contendo previsões de modelos numéricos e alertas meteoceanográficos.

2.4.1 Alertas precoces de eventos extremos

Quando há previsão de eventos extremos na região, boletins extraordinários são preparados pela equipe de técnicos alertando para a sua ocorrência, descrevendo-os detalhadamente em função do nível do mar, altura significativa e direção da ondulação, e com base no Plano Municipal de Contingência para Ressacas e Inundações da cidade de Santos (Figura 7). Entre maio de 2016 e março de 2018 foram emitidos mais de 40 boletins extraordinários elaborados pela equipe técnica do NPH, alertando antecipadamente a população e possibilitando a mitigação de possíveis impactos junto à Defesa Civil (Figura 8).

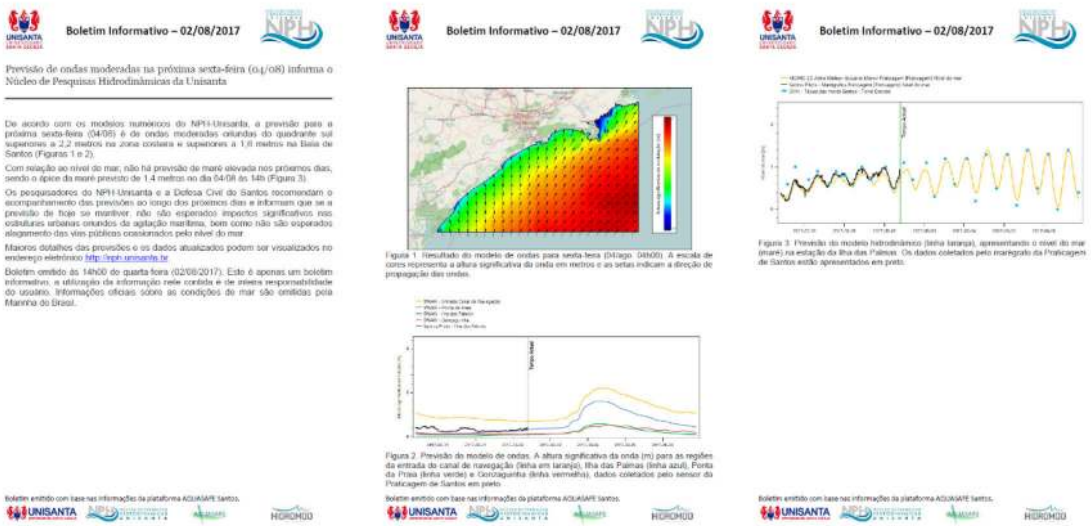

Figura 7. Boletim extraordinário emitido em 02/ago/2017 com um alerta de ressaca.


A-6 Cidades A TRIBUNA www.atribuna.com.br Sexta-feira 16 setembro de 2016

Efeitos de ressaca 'prevista' são minimizados

Trabalho preventivo é exaltado em Santos

SANDRO THADEU DA REDAÇÃO

chance para fazer uma selfie e estava convencido de que as

Figura 8. Página de jornal local com matéria sobre o trabalho preventivo de alertas em Santos. Fonte: Jornal A Tribuna de 16 de setembro de 2016.

2.4.2 Previsão de contaminação fecal

A partir do modelo hidrodinâmico foi implementado um modelo de qualidade da água com base em um indicador de contaminação fecal, a concentração de enterococos. Neste estudo foi considerada apenas a qualidade da água com relação à sua balneabilidade, ou seja, a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário.

Em função da presença de comportas na rede de macrodrenagem de Santos, o modelo preditivo atende à duas escalas de interesse: A escala das águas interiores do Estuário se aplica a todas as regiões dentro do domínio do modelo em que a qualidade microbiológica da água não é afetada diretamente pela abertura/fechamento das comportas, enquanto a escala das praias se aplica as regiões inseridas no domínio do modelo em que a concentração fecal na água depende diretamente da condição das comportas de drenagem localizadas na região das praias, sendo esta mais complexa, de tal forma que foram implementados 4 cenários em função da variação da capacidade de escoamento superficial dos canais de drenagem e da variação de volume de água captado pelos interceptores oceânicos nos canais, e transportado até a Estação de Pré-Condicionamento.

Segundo Ruiz et al. (2016), a poluição difusa em eventos de pluviosidade influencia diretamente a balneabilidade das praias localizadas nas baías de Santos e de São Vicente. Neste sentido, foi implantado um modelo simplificado de chuva-vazão para a região da Ilha de São Vicente que é executado de forma operacional desde dezembro de 2016, utilizando duas informações distintas de precipitação para o cálculo da vazão: dados coletados de pluviômetros do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) e resultados de previsão do modelo meteorológico GFS, com a finalidade de obter resultados representativos à realidade (RIBEIRO et al., 2017).

A Figura 9 apresenta um exemplo de resultados obtidos pelo modelo numérico de previsão de qualidade da água nas praias de Santos.

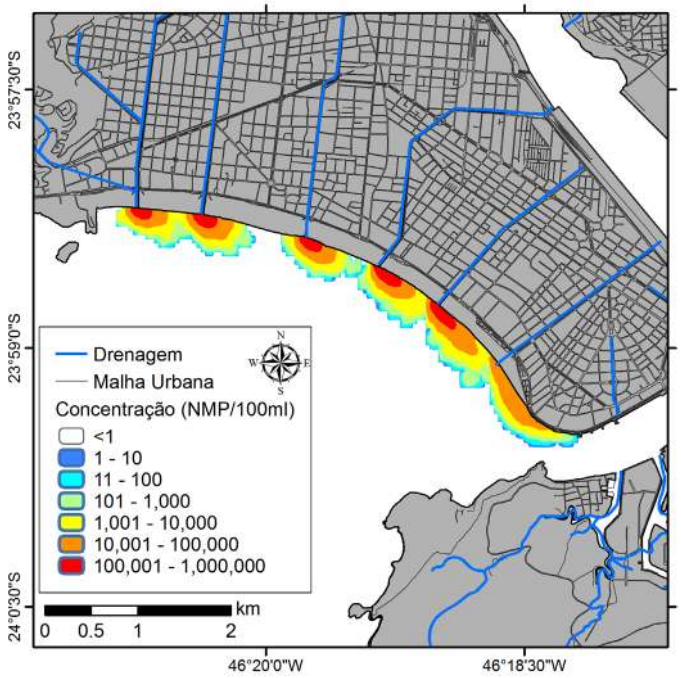

Figura 9. Exemplo de resultado do modelo de previsão de contaminação fecal.

3 Projetos em andamento

3.1 Monitoramento Fluviométrico em Tempo Quase Real e Modelagem Hidrológica na Bacia Hidrográfica dos Rios Moji em Cubatão-SP e Itapanhaú em Bertioga-SP.

Início: 2016

Término: previsão 2020

Financiamento: FEHIDRO (Contrato 076/2016)

Projeto que tem como objetivo desenvolver uma plataforma operacional de dados fluviométricos e de modelagem hidrológica nas Bacias Hidrográficas dos Rios Moji em Cubatão e Rio Itapanhaú em Bertioga, incluindo a instalação de duas estações pluviométricas e fluviométricas com transmissão de dados em tempo quase- real.

3.2 Monitoramento Fluviométrico em Tempo Quase Real e Modelagem Hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão.

Início: 2015

Término: previsão 2020

Financiamento: FEHIDRO (Contrato 154/2015)

Projeto em vigência que tem como objetivo desenvolver uma plataforma operacional de dados fluviométricos e de modelagem hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão, com a capacidade de integrar novos conjuntos de dados nas dimensões espacial e temporal, convertendo-os em informação útil para os gestores

operacionais de recursos hídricos. Além disso, o projeto realizará a instalação de uma estação fluviométrica no Rio Cubatão com transmissão de dados em tempo quase- real.

4 Considerações finais

Os projetos apresentados visam providenciar um serviço profissional de previsões meteoceanográficas, hidrológicas e de qualidade da água que permitem melhorar a eficiência e segurança de todas as ações que interferem com o meio aquático na interface do continente com o oceano, utilizando uma rede integrada de informações com grande flexibilidade na disseminação dos resultados para gestores e a alcance da população. Esta flexibilidade tem permitido que os resultados cheguem o mais rápido possível e adaptados às necessidades específicas de cada utilizador. Desta forma com o apoio do CBH-BS/FEHIDRO parcerias vem sendo consolidadas e proporcionaram um importante estreitamento da atividade científica na sua interface com a sociedade, a partir da identificação das necessidades específicas locais e da disseminação dos resultados das previsões meteoceanográficas em tempo "quase real" aos principais *stakeholders* e consequentemente à população vulnerável com antecedência, com foco no melhoramento contínuo do sistema na escala da bacia hidrográfica do Estuário de Santos - São Vicente.

5 Referências

CAMPUZANO, F.J.; MATEUS, M. D.; LEITÃO, P. C.; LEITÃO, P. C.; MARÍN, V. H.; DELGADO, L. E.; TIRONI, A.; PIERINI, J. O.; SAMPAIO, A. F. P.; ALMEIDA, P. & NEVES, R. J., 2013. **Integrated coastal zone management in South America: A look at three contrasting systems**, Ocean & Coastal Management, Volume 72, February 2013, Pages 22-35, ISSN 0964-5691, http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.08.002.

LEITAO, P. M. C. F. L.; LEITAO, J. M. C. F. L.; RIBEIRO, R. B.; SAMPAIO, A. F. P.; GALVAO, P.; RIBEIRO, J. & SILVA, A. **Serviços de previsão de alta resolução de condições meteo-oceanográficas e de eventos de poluição costeira.** In: VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 2015, Aveiro.

RIBEIRO, R. B.; GIANESELLA, S. M. F.; HARARI, J. 2013. **Numerical modeling of the influence of nutrients load on Santos Estuary water quality.** In: ASLO 2013 Aquatic Sciences Meeting, 2013, New Orleans. Abstract of the ASLO 2013 Aquatic Meeting. New Orleans: ASLO- Association for the Sciences of Limnology and Oceanography.

RIBEIRO, R. B.; SAMPAIO, A. F. P.; LEITAO, P. M. C. F. L.; LEITAO, J. M. C. F. L. & PUIA, H. L. **Modelagem numérica operacional do nível do mar e correntes para o Estuário de Santos.** In: XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite, 2015, Arraial do Cabo.

RIBEIRO, R. B.; LEITAO, J. M. C. F. L. ; LEITAO, P. M. C. F. L. ; PUIA, H. L. ; SAMPAIO, A. F. P. **Integration of high-resolution metocean forecast and observing**

systems at Port of Santos. In: IX PIANC-COPEDEC, 2016, Rio de Janeiro. Proceedings of IX PIANC-COPEDEC, 2016.

RIBEIRO, R. B.; SAMPAIO, A. F. P.; LEITAO, J.C.; LEITAO, P. C.; RODRIGUES, J. **Sistema de previsão da qualidade das águas balneares como ferramenta de gestão.** Em: 13º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Lisboa, 2017.

RUIZ, M. S.; SAMPAIO, A. F. P.; RIBEIRO, R. B. **Estudo do impacto da poluição difusa na balneabilidade das praias de Santos e São Vicente.** In: VIII Congresso Brasileiro de Iniciação Científica, 2016, Santos. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Iniciação Científica. Santos, 2016. v. 8. p. 179.

SAMPAIO, A. F. P.; MATEUS, M.; RIBEIRO, R. B.; BERZIN, G. **A modelling approach to the study of faecal pollution in the Santos Estuary**. Em: Perspectives on integrated coastal zone management in South America. IST Press, Lisboa, Portugal, p. 425-434, 2008.F

SAMPAIO, A. F. P.; CHERBAKIAN, E. H.; GIORDANO, F.; RAMOS JUNIOR, F. C. e RIBEIRO, R. B. **Sanitation and microbiological water quality in the watershed of Santos - São Vicente Estuary.** Revista DAE, Ed. 204, p.64-72. 2016.