

SISTEMA INTEGRADOR DELFT-FEWS: USOS E APLICAÇÕES NO CENÁRIO BRASILEIRO

Rocianne Bortolazzo Pinto^{1}; Rosana de Fátima Colaço Gibertoni²; João Lima Rego³; Dirk Schwanenberg⁴; Alberto Assis dos Reis⁵*

Resumo – Operadores de sistemas e tomadores de decisão que trabalham com previsões associadas a eventos naturais encontram enormes dificuldades em utilizar informações de forma integrada. As metodologias de previsão em geral necessitam de diferentes tipos de dados advindos de diversas fontes. Os atuais sistemas de suporte a decisões utilizados no Brasil possuem uma estrutura fixa dos processos de entrada e saída. Dispor de um sistema que integre todas as etapas da previsão e que facilite a inserção de quaisquer tipos de dados e modelos possibilita o ganho de flexibilidade, segurança, precisão e agilidade na tomada de decisão em tempo real. Dentro deste contexto de modelagem integrada, destaca-se a criação do sistema Delft-FEWS, aplicado em mais de 40 centros operacionais de previsão hídrica desde 2002. Observa-se que no cenário brasileiro, apesar de existir grande potencial para aplicabilidade em diversos setores, ainda não é comum a utilização de sistemas integradores de previsão. São aqui apresentados dois trabalhos atualmente em execução no Brasil: “sistema de monitoramento e previsão em tempo real para hidrodinâmica e ondas no interior da Baía de Guanabara e zona costeira em seu redor”; e “sistema de operação otimizada de reservatórios em tempo real, com foco no controle de cheias”.

Palavras-Chave – Sistema Delft-FEWS; Gerenciador de sistemas hídricos.

DELFT-FEWS SYSTEM: USES AND APPLICATIONS IN THE BRAZILIAN SCENARIO

Abstract – System operators and decision makers who work with forecast systems associated to natural events find enormous difficulties in utilizing information in an integrated way. The forecast methodologies generally require different data types from different sources. The current decision supporting systems used in Brazil have a fixed structure of the input and output processes. The availability of a system that integrates all steps of prediction and that facilitates the insertion of any types of data and models, provides gain of flexibility, security, accuracy and agility on real time decision making. The operational forecasting system Delft-FEWS, developed by DELTARES, has been applied in more than 40 operational flow/flood forecasting centres. It is observed that in the Brazilian scenario, despite the existing high potential for applicability in several sectors, the use of integrating systems is still not common. Two works currently running in Brazil are presented here: “monitoring and real time prediction system for hydrodynamics and waves inside the Guanabara Bay and the surrounding coastal area”; and “reservoirs optimized real time operation system, focusing in flood control”.

Keywords – Delft-FEWS system; Water systems manager.

¹ Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, rocianne.bortolazzo@lactec.org.br

² Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, rosana@lactec.org.br

³ DELTARES, joao.rego@deltares.nl

⁴ DELTARES, dirk.schwanenberg@deltares.nl

⁵ CEMIG, betoreis@cemig.com.br

1- INTRODUÇÃO

Mais da metade da população do planeta vive em regiões costeiras, deltas e próximas às margens de rios. Estas regiões estão economicamente favorecidas por causa do solo rico e fértil e proximidade do mar ou hidrovias. Entretanto, o aumento do nível dos rios e do mar, alterações climáticas e a pressão crescente na infraestrutura dessas regiões têm levado ao crescente risco de alagamentos, deslizamentos e contaminação da água. Esse cenário gera uma demanda de decisões estratégicas para as agências, envolvendo sistemas de alerta de enchentes, previsão de marés baixas para navegação, simulação de recursos hídricos como suporte no gerenciamento dos mesmos, operação de reservatórios com enfoque nos usos múltiplos e até mesmo alerta de incêndios florestais. Nesse contexto, os sistemas de previsão são cada vez mais empregados na organização de processos complexos que implicam no uso de dados e modelos em tempo real e para combinar os resultados de forma que possam ser utilizados de forma precisa e eficiente na tomada de decisão.

Particularmente nos casos em que têm sido aplicados por longos períodos de tempo, nota-se nos sistemas operacionais de previsão uma centralização no uso específico de um modelo e de seus dados de entrada. Entretanto, há algumas desvantagens no uso de sistemas de suporte a decisões que contém uma estrutura fixa e definição rígida dos processos de entrada e saída face à possibilidade de futuras alterações, sejam elas em relação ao modelo ou aos dados a serem utilizados para realização das previsões.

Dessa forma, cada vez mais instituições estrangeiras têm abandonado o conceito de aplicações de modelagens monolíticas em favor da adoção da modelagem em componentes construídos em blocos bem definidos, o que garante flexibilidade nas simulações. São exemplos o National Weather Service River Forecasting System (NWSRFS), utilizado para previsão de cheias de rios em 13 centros de previsão nos Estados Unidos (BURNASH, 1995), e o River Flow Forecasting System (RFFS), aplicado no centro de previsão Northeast, na Inglaterra, assim como na bacia White Cart, na Escócia (DOBSON *et al.*, 1990 *apud* VERNER *et al.*, 2012). Apesar de sua vasta aplicabilidade e grande utilidade na tomada de decisões estratégicas, no Brasil essa tecnologia ainda está em processo incipiente de utilização. São, portanto, poucas as aplicações nacionais registradas.

Dentro deste contexto de modelagem integrada, destaca-se a criação do sistema Delft-FEWS (WERNER e HEYNERT, 2006; TWIGT *et al.*, 2011), que desde 2002 tem sido aplicado em mais de 40 centros operacionais de previsão hídrica. Acredita-se que este sistema apresenta inúmeras vantagens de utilização, abrindo um leque de potenciais aplicações como ferramenta de suporte à decisão no cenário brasileiro de modelagem hídrica. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma sucinta revisão da estrutura e funcionamento do Sistema Integrador Delft-FEWS, algumas das principais aplicações já realizadas em outros países, dois estudos de caso de aplicações do sistema de previsão no Brasil, e finaliza com sugestões de áreas potenciais que podem ser exploradas para futuras aplicações no país.

2 - ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DO DELFT-FEWS

O Delft-FEWS é um sofisticado sistema composto por um conjunto de módulos que podem ser utilizados em cadeia a fim de construir um sistema operacional de gestão de recursos hídricos adaptável às necessidades individuais de cada agência (GIJSBERS, 2010). O sistema foi elaborado pela DELTARES com o objetivo de possibilitar a manipulação e a conexão de uma grande variedade de dados hidrometeorológicos, tanto previstos como monitorados, assim como modelos hidrológicos e hidráulicos. Mais do que um suporte para tomada de decisões estratégicas, o Delft-FEWS forma uma classe especial de sistemas de suporte a decisões ambientais, tendo em vista que funciona em tempo real (MATTHIES *et al.*, 2007 *apud* WERNER *et al.*, 2012). A aplicação do

sistema se estende desde pequenas escalas, utilizando uma estação de trabalho em um computador de mesa, a grandes escalas, como num sistema de previsão de cheias nacional utilizando tecnologia cliente-servidor distribuída (DELTARES, 2007). Cabe ressaltar que o desenvolvimento do sistema tem sido muito dinâmico em vista de encontrar aplicação em um número crescente de sistemas operacionais de previsão. Assim, aprimoramentos no sistema têm sido realizados de acordo com o aparecimento de necessidades de funcionalidades adicionais às novas aplicações.

O sistema Delft-FEWS tem como foco central os dados e o processamento dos mesmos. Basicamente, ele disponibiliza um *software* através do qual o sistema de previsão pode ser desenvolvido atendendo os requisitos específicos de um centro operacional de previsão. Assim, o Delft-FEWS provê os dados de entrada e parâmetros, executa o modelo (hidrológico e/ou hidrodinâmico) e lê os resultados (WERNER *et al.*, 2012), não apresentando recursos de modelagem hidrológica em seu código base.

Todos os componentes do sistema se comunicam através de uma base de dados central que requer que a aquisição e o armazenamento dos dados sejam realizados por um módulo de acesso, o que permite que o sistema seja independente de uma implementação física de uma base de dados. O Delft-FEWS provê um módulo de importação de dados que foi concebido a fim possibilitar a manipulação de uma gama de dados em formatos diferentes, através de uma classificação em JAVA desenvolvida para formato de dados (DELTARES, 2007). Como grande parte dos dados não está em escala temporal e espacial adequada para serem utilizados diretamente como entrada nos modelos preditivos, o sistema é equipado com uma extensa biblioteca de funções e processamento de dados, que incluem algumas funções hidrológicas específicas.

As ferramentas de transformação de dados incluem métodos para agregação ou desagregação temporal, avaliação de equações simples e de funções hidrológicas simples assim como transformação de altura do nível de água em vazões através da curva-chave e cálculo de evapotranspiração (WERNER *et al.*, 2012). Os aplicativos do sistema incluem: controle de qualidade dos dados de precipitação importados da base de dados hidrológicos em tempo real; agregação dos dados em intervalos de 15 min à intervalos horários; interpolação dos dados utilizando polígonos de Thiessen; obtenção de taxa de precipitação através de imagens de radar; obtenção de dados através do grid numérico; correção do hidrograma gerado pelo modelo hidrológico através do algoritmo de correção de erro (ARMA); dimensionamento da hidrógrafa para pequenos tributários não abrangidos pelo modelo, entre outros.

O passo final no processo de previsão é a geração de produtos que podem ser divulgados num sistema de alerta. O Delft-FEWS pode gerar resultados na forma de gráficos, tabelas assim como resumos dos mesmos. Estes valores podem ser inseridos em base de mapas para permitir a visualização geográfica dos principais resultados. Os produtos gerados pelo sistema podem conter tanto previsões determinísticas quanto probabilísticas. Atualmente informações probabilísticas têm adquirido maior importância na disseminação dos resultados. No sistema, elas podem ser geradas em gráficos e tabelas, sumários estatísticos, etc.

3 – PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO DELFT-FEWS – CENÁRIO MUNDIAL

Desde sua introdução em 2001/2003, a versão corrente da plataforma do Delft-FEWS foi implantada em mais de 40 centros operacionais (WERNER *et al.*, 2012). A primeira implementação do Delft-FEWS se deu para a bacia do rio Nilo, sendo utilizado pelo Ministério de Irrigação e Recursos Hídricos no Sudão (GRIJSSEN *et al.*, 1992 *apud* WERNER *et al.*, 2012). Na Europa, um dos resultados dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e em melhorias no sistema de previsão de cheias foi o desenvolvimento da EFFS (Sistema de Previsão de Cheias Europeu)

baseado na plataforma de previsão de cheias do Delft-FEWS. A elaboração desse sistema foi realizada pelo consórcio de 19 institutos de pesquisa europeus, universidades e agências de estado, tendo a WL 1 Delft Hydraulics como instituição líder. O mesmo sistema operacional tem sido utilizado pelo Sistema Nacional de Previsão de Cheias do Reino Unido (UK National Flood Forecasting System – NFFS) (LEEDAL *et al.*, 2012).

Historicamente, as previsões de cheias eram realizadas de maneira independente em cada uma das regiões correspondentes à Inglaterra, País de Gales e Escócia. Em 2005 tornou-se operacional nas três regiões a primeira versão do Sistema Nacional de Previsão de Enchentes, no qual o Delft-FEWS atua como espinha dorsal. Nos anos de 2006 e 2007 o sistema tornou-se operacional para as demais regiões do Reino Unido. O sistema foi inicialmente concebido a fim de integrar sistemas já operacionais nas regiões e assim, garantir a continuidade do serviço independentemente de mudanças no sistema (WERNER *et al.*, 2012). Outra aplicação foi realizada para previsão de cheias na Suíça pelo Departamento Ambiental Federal da Suíça. Desde a aplicação do sistema de previsão nacional foi notável o aumento do número de bacias e rios abrangidos pelos modelos já operacionais (WHITFIELD, 2005 *apud* WERNER *et al.*, 2012). Além disso, o uso do Delft-FEWS como sistema integrador permitiu a uniformização dos dados utilizados nas diversas regiões abrangidas pelo estudo, e assim, facilitou a inserção de novos produtos ao sistema, como previsões numéricas do tempo (*ensemble forecasting*) (WERNER *et al.*, 2012).

O sistema também foi implantado como suporte para gestão de enchentes a nível nacional no Paquistão (TARIQ & GIESEN, 2012). Considerando as três maiores bacias do país, a bacia Indus tem como principal causa de enchentes as monções, enquanto que ondas do mediterrâneo e ciclones gerados no mar Árábico induzem as cheias na bacia de Kharan e na área costeira de Makran. O sistema de alerta de cheias no país foi iniciado em 1975, quando a telemetria em tempo real foi instalada em 16 estações fluviométricas e 24 estações pluviométricas. Um consórcio entre o Serviço Nacional de Engenharia do Paquistão e a DELTARES realizou a implementação do Sistema de Alerta Antecipado de Enchentes (Flood Early Warning System – FEWS). Entretanto, apesar do governo ter investido muitos recursos em operações de remediação e prevenção de enchentes, a manutenção do funcionamento de medições de cheias ainda tem sido negligenciada, o que diminui a efetividade na aplicação do sistema de alerta.

O potencial de aplicabilidade do Delft-FEWS também tem sido avaliado para o território correspondente à bacia do rio Mekong na Tailândia, Laos, Camboja e no Vietnã (VERWEY *et al.*, 2006). A bacia já apresenta uma rede de suporte à decisão (Decision Support Framework, DSF) baseada nos modelos hidrológicos SWAT e IQQM e no modelo hidrodinâmico ISIS, que se torna de grande utilidade para o sistema de previsão de cheias através da modelagem da propagação de cheias no rio Mekong e seus tributários. Entretanto, a região de estudo apresenta escassez de estações pluviométricas e dificuldade para manutenção das existentes, o que pode ser contornado com a maior disponibilidade de observações de satélite, tendo em vista a emergente aplicabilidade dos modelos climáticos em termos de seu refinamento e acurácia.

Atualmente, Delft-FEWS tem sido utilizado em aplicações inéditas, como previsão de secas na Bacia do Rio Vermelho no Vietnã e previsão de intrusão salina para a lagoa Songkhla na Tailândia (VERWEY *et al.*, 2006). Outra aplicação inédita foi apresentada por Weerts *et al.* (2010) através de um sistema de previsão de risco de queimadas utilizando dados de nível de água subterrânea. Classes de nível da água podem ser relacionadas à ocorrência de queimadas em turfas, assim, é possível estimar o risco de queimadas nesses ambientes através da aplicação de um modelo de águas subterrâneas que tem como entrada dados medidos ou previstos de precipitação.

4 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO DELFT-FEWS - CENÁRIO NACIONAL

SISTEMA FEWS-GUANABARA

A Baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro, tem características naturais que a tornaram um estuário muito importante desde o início da colonização Européia no Séc. XVI. Esta cidade é frequentemente palco de importantes eventos internacionais, e a quantidade de infraestrutura ligada ao tratamento de esgotos, ao transporte marítimo e à indústria “offshore” em redor da Baía aumentou imensamente nos últimos 20 anos. O Porto de Contentores do Rio, as inúmeras barcas fazendo o trajeto Rio-Niterói, as várias Bases Navais da Marinha, a Refinaria de Duque de Caxias, os vários terminais GNL nas ilhas no norte da Baía – são alguns exemplos da utilização intensiva e da pressão crescente sobre a Baía de Guanabara.

Neste contexto e com ênfase na segurança de navegação, o Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM) e a DELTARES desenvolveu um sistema de monitoramento e previsão em tempo real para hidrodinâmica e ondas no interior da Baía e na zona costeira em seu redor, baseados no pacote Delft-FEWS. Os modelos locais, de hidrodinâmica e de ondas, foram configurados pela ASA *Latin America*, consultores em São Paulo. Este artigo resume alguns aspectos práticos, no desenvolvimento da plataforma operacional do sistema FEWS-Guanabara. O trabalho aqui descrito foi financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), organização do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil.

Além do Delft-FEWS, o sistema FEWS-Guanabara baseia-se em outro pacote de software “aberto” (código público e sem pagamento de licença), também desenvolvido pela DELTARES: os modelos numéricos Delft3D-FLOW (VINZON *et al.*, 2009; ELIAS *et al.*, 2012) simulando hidrodinâmica tridimensional oceânica e estuarina e Delft3D-WAVE simulando a propagação e geração de ondas (baseado no modelo SWAN), e o código Delft-FEWS (WERNER e HEYNERT, 2006; TWIGT *et al.*, 2011) para gestão operacional de transferências de dados e de simulações hidrológicas. Estas ferramentas fazem parte da iniciativa “open source software” (<http://oss.deltares.nl>) que estimula a partilha internacional de ferramentas em Ciência e Engenharia.

O sistema FEWS-Guanabara importa e faz o processamento de dados observados, bem como, de resultados de modelos regionais. São utilizados dados *MetOcean* medidos pelas estações meteorológicas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) e pelas bóias oceânicas da Marinha do Brasil. Os resultados de modelos regionais são obtidos das seguintes fontes: da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (modelo meteorológico *HRM* e *COSMO*; modelo hidrodinâmico *HYCOM*; modelo de ondas *WaveWatch III*), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (produto meteorológico à superfície, ETA 15-km), e da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (modelo meteorológico *GFS*). Os modelos locais Delft3D, forçados operacionalmente pelos modelos regionais, produzem previsões de três dias, diariamente.

No sistema FEWS-Guanabara a validação é feita em tempo real, comparando as previsões com dados observados no terreno. Com base nos resultados dos modelos locais, o sistema FEWS-Guanabara emite um alerta quando for previsto que os níveis de água desçam abaixo de determinados níveis, o que é importante para a navegação segura de alguns navios em certas zonas. Avisos são emitidos também quando as correntes perpendiculares às principais rotas de navegação forem demasiado fortes, ou as ondas previstas demasiado grandes. Com este tipo de informação, a Marinha do Brasil produz relatórios diários tanto para uso interno como ainda para partilha com outras entidades da região (e.g., nadadores-salvadores, autoridades portuárias, operadores da Petrobrás). A Figura 1 apresenta uma das telas de resultado do sistema FEWS-Guanabara.

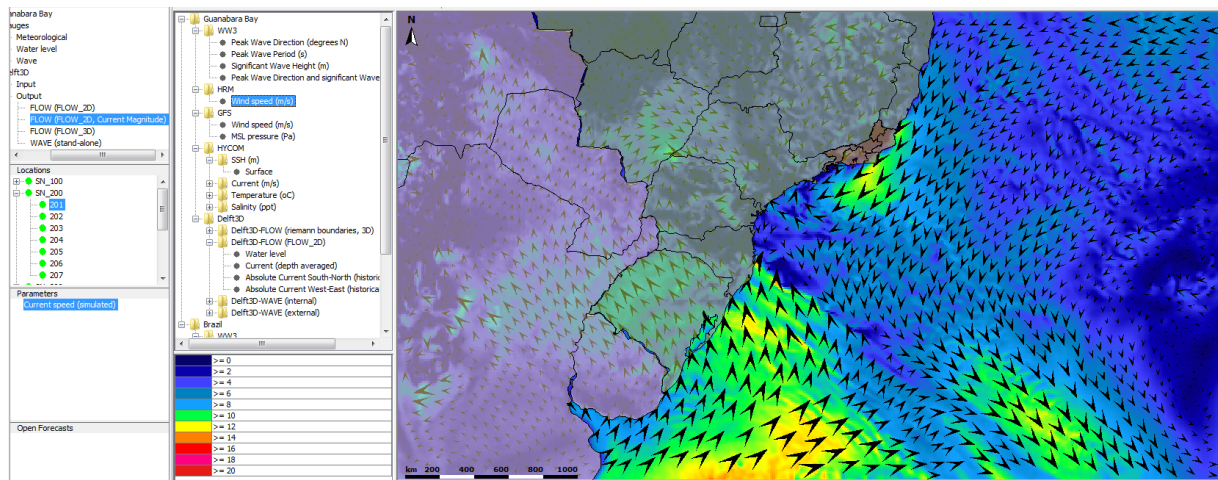


Figura 1 - Vetores de velocidade do vento em exemplo de simulação

SISTEMA INTEGRADOR CEMIG

Apesar da disponibilidade dos modelos meteorológicos, hidrológicos e hidrodinâmicos e de tecnologias de ponta, a utilização conjunta dos mesmos em sistemas de suporte à decisão não é realizada a nível nacional, devido à incompatibilidade de saídas e entradas de dados e dificuldades de processamento das informações em um sistema que deva operar em tempo real, ou seja, de forma rápida e segura. Com o objetivo principal de implantar um sistema que acople modelos e informação telemétrica visando à otimização da operação de reservatórios em tempo real, com foco no controle de cheias, a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) propôs um estudo de caráter inédito, financiado dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). O projeto P&D CEMIG/ANEEL GT-491 tem como instituição executora, o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LATEC), e como consultora a DELTARES, tendo início em outubro de 2012 e período de execução de 3 anos.

O estudo contempla o desenvolvimento de uma metodologia que integre todas as etapas de operação de um reservatório, com a utilização em tempo real de diferentes tipos de dados e modelos hidráulicos e hidrológicos. Para tal, as metodologias empregadas no desenvolvimento desta pesquisa são aplicadas em 11 usinas operadas pela CEMIG, localizadas em 8 bacias hidrográficas e nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santos. O intuito de estudar as diferentes bacias hidrográficas é obter análises sobre regiões com distintas características, avaliando, principalmente, a influência da magnitude da área de drenagem da bacia, visto que os estudos de caso possuem drenagens que variam entre 543 e 71487 km² nos locais das usinas. A análise conjunta das avaliações obtidas permitirá a futura extensão dos resultados do projeto a outros locais não avaliados.

Além do próprio Delft-FEWS, ao final do projeto farão parte do sistema: os modelos SOBEK e HEC-HMS, hidrológicos; 1D2D SOBEK e HEC-HAS, hidrodinâmicos; o modelo hidrológico de grandes bacias, MGB-IPH; o modelo de previsão meteorológica “Ensemble Forecasting”; um método para avaliação de restrições de vazão por lógica “Fuzzy”; e o RTC TOOLS, um pacote para modelagem de Controle em Tempo Real (“Real-Time Control”), que pode ser implementado no Delft-FEWS ou vinculado a outros pacotes de modelagem hidráulica.

O sistema será alimentado com dados de estações telemétricas operadas pela CEMIG e dados de modelos de previsão climática como o CPTEC15 e ETA CEMIG. Assim, além da otimização da

operação dos reservatórios em tempo real, ao final do projeto espera-se obter um sistema que emita um sinal à operadora quando as simulações com o modelo hidrodinâmico bidimensional indicarem elevados níveis de água nas regiões de estudo. Tendo em vista que projeto ainda encontra-se em período inicial de execução, até o momento foram gerados apenas resultados preliminares, que não são, portanto, apresentados neste artigo. A Figura 2 mostra a interface do sistema Delft-FEWS na implementação inicial para algumas das bacias a serem estudadas no projeto.

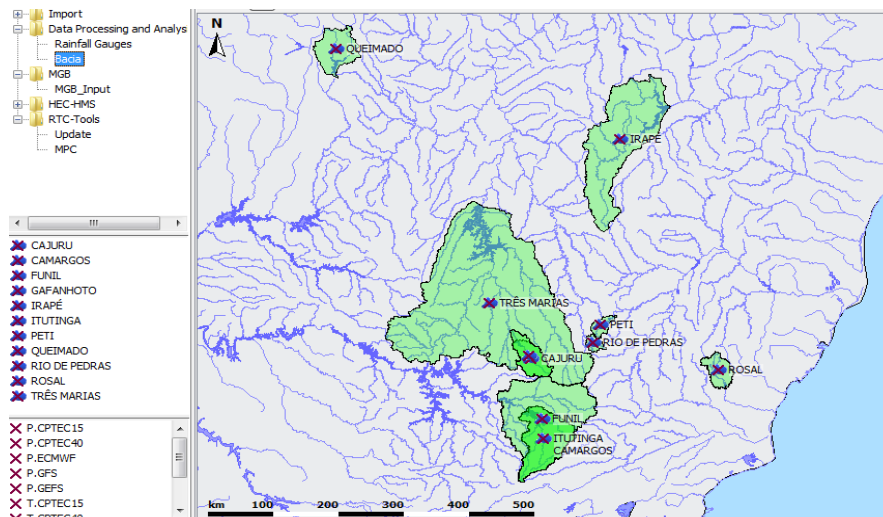


Figura 2 - Interface do Delft-FEWS para algumas das bacias estudadas no Sistema Integrador CEMIG

5 – CONCLUSÕES

O sistema Delft-FEWS apresenta-se como uma ferramenta de grande utilidade no auxílio à tomada de decisões ambientais envolvendo soluções de problemas consequentes das crescentes pressões associadas ao uso e ocupação do solo, demanda de recursos hídricos e alterações climáticas. A partir das aplicações e estudos de caso apresentados, pode-se concluir que no cenário brasileiro o sistema FEWS encontra grande aplicabilidade em diversos setores.

Dentro do cenário de eventos naturais críticos podem ser apontadas diversas potenciais aplicações do sistema Delft-FEWS. Uma delas foi inspirada pelo estudo apresentado por Weerts *et al.* (2010), e consiste na previsão de incêndios florestais especialmente nas regiões do cerrado brasileiro onde as queimadas costumam devastar áreas de preservação ambiental. Pela sua extensão e heterogeneidade hidrometeorológica, o Brasil possui imenso número de regiões que são devastadas por cheias ou estiagens, ou ainda, por ambos os eventos extremos. Nestas aplicações, o Delft-FEWS tornaria possível uma eficiente gestão dos recursos hídricos, ou simplesmente, a disponibilidade de sistemas de alerta livres do risco de se tornarem inoperáveis pela falta de compatibilidade/integração de dados e modelos. Outra aplicação vislumbrada dentro do contexto de previsão de evento crítico é a modelagem do potencial de eutrofização de um sistema hídrico baseado em previsões meteorológicas para estabelecimento da hidrodinâmica local.

As regiões portuárias, principalmente os grandes portos (Porto de Santos, Vitória, Paranaguá, Itajaí e São Francisco do Sul), teriam sua utilização otimizada com a implementação do sistema integrador com foco na segurança de navegação, conforme estudo de caso apresentado.

Tendo em vista que cerca de 80% da energia elétrica brasileira é gerada por usinas hidrelétricas, e que existe um grande número de agentes envolvidos, além de diferentes bancos de dados e sistemas, a otimização da operação dos demais reservatórios brasileiros seria mais uma grande oportunidade para implementação do sistema *Delft-FEWS*. Acredita-se que a implementação

de um sistema integrador, como o *Delft-FEWS*, traria um grande ganho de eficiência à operação de reservatórios com atendimento aos usos múltiplos, realizada hoje pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), uma vez que o *Delft-FEWS* apresenta grande capacidade de generalização e aproveitamento dos bancos de dados e ferramentas já desenvolvidas até o momento. Permitindo, então, automatizar as etapas intermediárias de tratamento dos dados e modelagem, e possibilitando, desta forma, dispor de maior tempo para análise dos resultados e tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são direcionados ao CHM, CEMIG, FINEP e ANEEL, instituições que possibilitaram ou vêm possibilitando a realização dos estudos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

DELTARES (2007). *Delft-FEWS user guide*.

ELIAS, E.; GELFENBAUM, G.; VAN DER WESTHUYSEN, A. (2012). Validation of a coupled wave-flow model in a high-energy setting: The mouth of the Columbia River. *Journal of Geophysical Research* 117, C09011. DOI:10.1029/2012JC008105.

GIJSBERS, P. (2010). Opportunities and limitations of DelftFEWS as a scientific workflow tool for environmental modeling. *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake*, Fifth Biennial Meeting. Ottawa, Canada.

LEEDAL, D.; WEERTS, A. H.; SMITH, P. J.; BEVEN, K. J. (2012). A data based mechanistic real-time flood forecasting module for NFFS FEWS. *In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9, 7271-7296.

TWIGT, D.; REGO, J. L.; TYRRELL, D.; TROOST, T. (2011). Water Quality Forecasting Systems: Advanced Warning of Harmful Events and Dissemination of Public Alerts. *Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, in Lisbon, Portugal, 8-11.

VERWEY, A.; HEYNERT, K.; WERNER, M.; REGGIANI, P.; KAPPEL, B. van; BRINKMAN, J. (2006). *The potential of the Delft-FEWS flood forecasting platform for application in the Mekong Basin*. 4th Annual Mekong Flood Forum, Siem Reap, Cambodia.

VINZON, S.B.; WINTERWERP, J.C.; NOGUEIRA, R.; AND DEBOER, G.J. (2009). Mud deposit formation on the open coast of the larger Patos Lagoon–Cassino Beach system. *Continental Shelf Research* 29, 572-588. DOI:10.1016/j.csr.2008.09.021.

WEERTS, A. H.; SCHELLEKENS, J.; WEILAND, F. S. (2010). Real-Time Geospatial Data Handling and Forecasting: Examples from Delft-FEWS Forecasting Platform/System. *In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 3, Nº.3.

WERNER, M.; SCHELLEKENS, J.; GIJSBERS, P.; DIJK, M.; AKKER, O.; HEYNERT, K. (2012). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & Software*, pg. 1-13.

WERNER, M.; HEYNERT, K. (2006). Open model integration - A review of practical examples in operational flood forecasting, *7th International Conference on Hydroinformatics*, Nice, France, Vol. 1, 155-162.