



HIDROSAT – SISTEMA INTEGRADO PARA GERENCIAMENTO, PROCESSAMENTO E DIFUSÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS OBTIDOS A PARTIR DE MONITORAMENTO POR SATÉLITES

João Carlos Carvalho¹; Gérard Cochonneau²; Rita de Cássia Cerqueira Condé de Piscocoy^{1}; Jean-Michel Martinez²; Elvis Alves de Souza¹; Marcos Aurélio Antunes¹; Dhalton Tosetto Ventura¹; Eurides Oliveira¹; Walszon Terlizzie Araújo Lopes¹; Valdemar Santos Guimarães¹.*

Resumo – A Agência Nacional de Águas (ANA) e o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD), com acompanhamento da Agência Brasileira de Cooperação (ABC), desenvolvem desde 2009 o Projeto de Cooperação Técnica Monitoramento Espacial Hidrológico de Grandes Bacias (Quantidade e Qualidade) - Projeto MEG-HIBAM, que tem como objetivo demonstrar a possibilidade de monitorar parâmetros hidrológicos a partir do uso de sensores espaciais embarcados em satélites (sensores espaciais). Visando dar publicidade aos conhecimentos gerados pelas atividades realizadas no projeto MEG-HIBAM, foi criado o HidroSat. O HidroSat consiste em um sistema integrado para gerenciamento, processamento e difusão dos dados obtidos a partir do uso de produtos satelitais. Tal difusão é realizada por meio de um aplicativo *web* onde são disponibilizadas as estimativas de concentração de sedimentos, turbidez e clorofila-*a* e dados de cota em estações denominadas "virtuais" espalhadas pela América do Sul, em especial pelo território brasileiro. O objetivo deste trabalho é apresentar o Sistema HidroSat, desenvolvido no âmbito do Projeto ANA/IRD, os tipos de satélite, sensores, imagens e *softwares* utilizados, além das modalidades e frequência de disponibilização dos dados gerados.

Palavras-Chave – Sistema HidroSat, dados de satélite, hidrologia espacial.

HIDROSAT – INTEGRATED SYSTEM FOR MANAGING, PROCESSING AND DISSEMINATION OF HYDROLOGIC DATA OBTAINED FROM THE MONITORING BY SATELLITES

Abstract – The Brazilian National Water Agency (ANA) and the *Institut de Recherche pour Le Développement* (IRD) develop since 2009, through an agreement with the Brazilian Cooperation Agency (ABC), a technical cooperation project entitled “Space Monitoring of Large Hydrological Basins (quantity and quality) – the MEG-HIBAM Project”. This project aims to demonstrate the possibility of monitoring hydrologic parameters from the use of space-based sensors. In order to publicize the data generated in the ANA-IRD cooperation, it was created the HidroSat, an integrated system for managing, processing and dissemination of data obtained from the use of satellite products. The data dissemination takes place on an internet site, where estimates of sediment concentration, turbidity, chlorophyll-*a* and water level data in “virtual” stations located throughout South America and, particularly, in Brazil, are published. The objective of this work is to present the HidroSat system, developed within the ANA/IRD framework, and the satellite, sensor, imagery and *software* used, as well as the types and frequency of data publishing.

Keywords – HidroSat System, Satellite Data, Spatial Hydrology.

¹ Agência Nacional de Águas, Setor Policial, área 5, Quadra 3, Bloco L, Brasília-DF; joao.carvalho@ana.gov.br; rita.piscocoy@ana.gov.br;

dhalton.ventura@ana.gov.br; elvis.souza@ana.gov.br; marcos.antunes@ana.gov.br; walszon@ana.gov.br; eurides@ana.gov.br; valdemar@ana.gov.br
²GET, UMR5563, CNRS/IRD/Université Toulouse 3, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France; gerard.cochonneau@ird.fr; martinez@ird.fr

* Rita de Cássia Cerqueira Condé De Piscocoy



1. INTRODUÇÃO

A agenda internacional de água recente colocou questões de qualidade de água na vanguarda, com a necessidade de água de boa qualidade, tornando-se fundamental para garantir o futuro da saúde humana e dos ecossistemas. Segundo o relatório da UNEP GEMS, três quartos do mundo não têm recursos disponíveis para o monitoramento da qualidade de água na escala necessária, e não será capaz de obtê-la em um futuro próximo (UNEP GEMS, 2003).

A Agência Nacional de Águas (ANA) coordena o monitoramento hidrológico em todo o território brasileiro, sendo responsável por cerca de 4.500 das 12.400 estações da Rede Hidrometeorológica Nacional. Estas estações classificam-se em pluviométricas (precipitação), fluviométricas (nível e vazão de rios), sedimentométricas (carga de sedimentos) e de qualidade de água.

Apesar de se tratar de uma rede hidrológica de grande porte, o monitoramento ainda necessita ser ampliado. Problemas como a baixa densidade de estações em algumas regiões, baixa frequência de coleta, pequeno número de parâmetros de qualidade de água monitorados, alto custo de instalação e manutenção das estações e grande extensão territorial do país são desafios para as instituições públicas e privadas que trabalham com recursos hídricos no Brasil.

Atualmente, com o desenvolvimento do sensoriamento remoto, é possível produzir informações hidrológicas valiosas e de baixo custo financeiro com uso de dados de sensores espaciais. Com a apropriação destas novas tecnologias é possível ampliar o monitoramento hidrológico com confiabilidade permitindo a obtenção, com frequência cada vez maior, de determinados parâmetros (e.g., cota, sedimentos em suspensão e clorofila-*a*), sem necessidade de implantação de estações hidrológicas em campo. As quais apresentam alto custo de instalação e manutenção principalmente em regiões distantes e de difícil acesso, como a região amazônica.

O projeto de cooperação técnica Monitoramento Espacial Hidrológico de Grandes Bacias (Quantidade e Qualidade) - MEG-HIBAM, desenvolvido desde 2009 pela Agência Nacional de Águas - ANA e o *Institut de Recherche pour Le Développement* - IRD, com acompanhamento da Agência Brasileira de Cooperação (ABC), vem contribuir para a ampliação do monitoramento hidrológico no país. Este projeto teve como objetivo demonstrar a possibilidade de monitorar parâmetros hidrológicos a partir do uso de sensores embarcados em satélites (sensores espaciais). No âmbito do projeto MEG-HIBAM foram desenvolvidas atividades para i) produzir estimativas de nível de rios e reservatórios utilizando sensores radares altimétricos, e ii) avaliar a qualidade da água por dados de sensores espaciais imageadores. Também foram desenvolvidas técnicas e ferramentas para o processamento de dados em massa produzindo séries temporais de parâmetros hidrológicos em tempo “quase real” (logo que os dados brutos são disponibilizados pelas agências espaciais).

Visando sistematizar os conhecimentos gerados pelas atividades realizadas, no âmbito do projeto ANA-IRD, as ferramentas associadas ao monitoramento de qualidade de água foram integradas em um sistema denominado HidroSat. O sistema consiste em uma forma integrada para gerenciamento, processamento e difusão de dados obtidos a partir do uso de produtos satelitais, quais sejam: estimativas de concentração de sedimentos, turbidez, clorofila-*a* e de dados de cota em estações "virtuais".

O objetivo deste trabalho é apresentar o sistema HidroSat, desenvolvido no âmbito do projeto ANA/IRD, apresentando os sensores, imagens e algoritmos utilizados, além dos tipos e formas de disponibilização dos dados.



2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do Sistema

O software foi desenvolvido seguindo a metodologia de desenvolvimento e aquisição de software utilizada pela ANA – MSDA (ANA, 2008), e continua sofrendo evoluções constantes visando atender as novas necessidades levantadas pelos usuários do sistema. A interface web do HidroSat utiliza as tecnologias da Microsoft: Visual Studio 2012, Linguagem Asp.Net + C# com o Framework 4.0, API do Google Maps v3.0 e servidor de aplicação IIS. Os algoritmos de processamento dos dados foram desenvolvidos utilizando tecnologia Java SE e o servidor de aplicação Windows Server 2008. O servidor de banco de dados utilizado é o Oracle 11g.

A arquitetura proposta para o sistema HidroSat é composta por três módulos principais, que trabalham de forma integradas a partir da base de dados e na camada de apresentação *web*. A seguir é apresentado um resumo dos objetivos de cada um dos módulos.

- AutoMod - Tem por objetivo solicitar as imagens de refletância, a partir de um serviço web disponibilizado pela Agência Espacial Americana - NASA, baixar as imagens que foram solicitadas através de um do serviço FTP, e extrair os recortes das imagens para as áreas de interesse para serem processadas posteriormente.
- MOD3R - Tem por objetivo processar os recortes das imagens processadas pelo AutoMod, efetuar os cálculos de estimativa de concentração de sedimento, clorofila-*a* e turbidez, e inserir as informações no banco de dados.
 - CalculaDados - Realizar os cálculos necessários para cada estação.
 - VerificaDados – Seleciona os dados a serem apresentados.
- VALS - Tem por objetivo realizar a estimativa dos dados de altimetria do nível dos rios. O algoritmo realiza uma sequência de processamentos, a partir dos dados altimétricos brutos, e estima os dados de cota para cada estação “virtual”.

Na Figura 1 é apresentada um fluxograma da arquitetura lógica do sistema, que fornece uma visão geral do contexto e da abrangência do HidroSat.

2.2. Estações virtuais

Basicamente, no sistema HidroSat são processados e disponibilizados dados de dois tipos de estações virtuais: altimétricas (nível de rios), a partir de dados de radares altimétricos, e de qualidade de água (clorofila-*a*, turbidez e sedimentos), a partir de imagens de refletância da água.

2.2.1 Estações virtuais altimétricas

As estações virtuais altimétricas fornecem dados de cotas (níveis de rios), atualmente calculados a partir do processamento dos dados fornecidos pelos satélites ENVISAT, JASON-2 e SARAL. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais informações dos instrumentos utilizados em cada satélite, bem como informações de tempo de revisita e período de operação. Os dados dos três satélites utilizados estão disponíveis, gratuitamente, para *download* nos *sites* das missões altimétricas.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

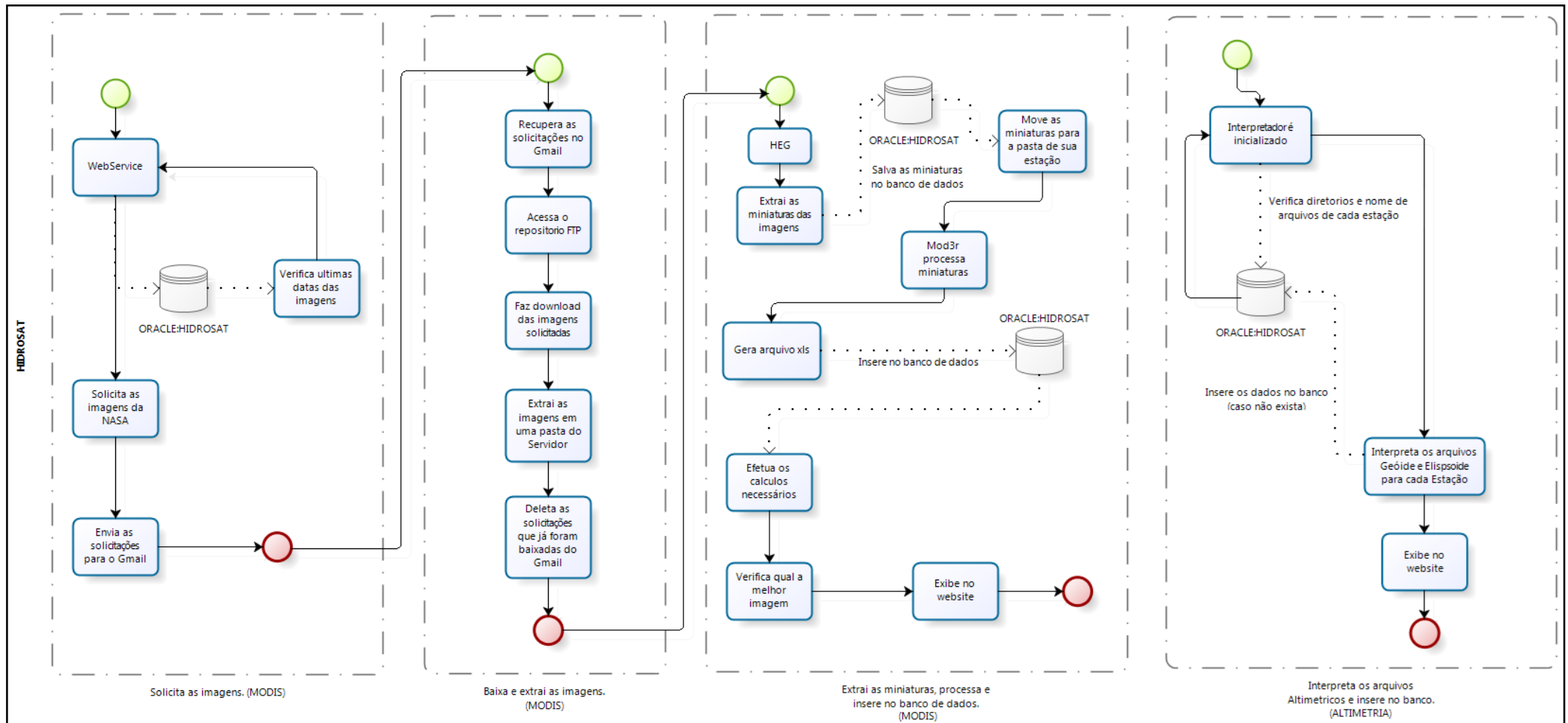


Figura 1 – Fluxograma da visão lógica do sistema HidroSat.



A atualização da base de dados institucional do sistema HydroSat, a partir dos arquivos brutos de altimetria, e a extração dos dados altimétricos são realizadas com utilização do software VALS (*Virtual Altimetric Stations*), desenvolvido pelo IRD. O sistema VALS, e o manual de utilização (Clio & Cochonneau, 2011), estão disponíveis a partir do endereço eletrônico “<http://www.orehybam.org/index.php/eng/Software>”.

A partir do cruzamento das trajetórias dos satélites, projetadas na superfície da Terra (traços), com os rios, são selecionados locais para criação das estações virtuais de altimetria. O traço representa a projeção de meia órbita do satélite no solo, entre a latitude mais ao norte e a latitude mais ao sul da trajetória (cada revolução do satélite ao redor da Terra corresponde a dois traços). Os limites da área geográfica das estações virtuais altimétricas, criadas nos pontos de cruzamento da passagem dos satélites (traço) com os rios, são definidos por um polígono (arquivo em formato *kmz*) utilizando o software Google Earth®. O polígono de cada estação é definido em uma área ao redor da intersecção do traço do satélite com o corpo d’água, a fim de contemplar todas as passagens do satélite, que podem ocorrer sobre a linha do traço ou nas proximidades dela. O intervalo da passagem do satélite sobre o mesmo ponto é denominado de ciclo, que é identificado por um número sequencial.

No caso da ANA, os arquivos dos satélites são importados para uma base de dados centralizada, e a extração dos dados de cotas de estações virtuais é realizada utilizando o algoritmo VALS. A partir do polígono da estação virtual, em formato *kmz*, são carregados os pontos altimétricos de cada ciclo. A seleção dos pontos que melhor caracterizam cada ciclo é realizada manualmente e, em seguida, extrai-se a série temporal e aplica o valor de ondulação geoidal (modelo MAPGEO2010 ou EGM2008).

As estações virtuais são identificadas pelo nome e código. O nome da estação virtual contém o nome de um local próximo à estação, a palavra “Virtual” para caracterizar que se trata de uma estação não convencional, e uma sigla que identifica o satélite a partir do qual foram extraídos os dados (ENV para ENVISAT, JA2 para JASON-2 e SRL para SARAL). O código da estação virtual contém no máximo 12 caracteres: *ssstttnnnnnn*, onde *sss* identifica o satélite [JA2, ENV ou SRL], *ttt* o número do traço e *nnnnnn* um local próximo à estação virtual (ex.: ENV035JABUNA).

Após o processamento manual de vários ciclos da estação virtual, utilizando o VALS, torna-se viável considerar a operação da estação virtual em modo automático. Para tanto, cadastra-se a estação virtual no sistema HydroSat e atualiza-se os parâmetros de configuração no sistema. O processamento manual (fase de aprendizagem) serve para definir esses parâmetros. Assim, o sistema está pronto para realizar o processamento e disponibilização automática dos novos ciclos de observação.

Tabela 1 - Frequência de aquisição de dados para cada tipo de estação “virtual”.

Tipo de Estação Virtual	Satélite	Instrumento	Banda Espectral	Frequência de aquisição (dias)	Período de Funcionamento
Altimétrica	JASON-2	Poseidon-3	Ku e S	10	2008 -
Altimétrica	ENVISAT	RA-2	KU e S	35	2002 - 2010
Altimétrica	SARAL	Altika	Ka	35	2013 -



2.2.2 Estações virtuais de qualidade da água

Os dados fornecidos pelas estações sedimentométricas, clorofila-*a* e turbidez são obtidos a partir do processamento das imagens dos sensores MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), embarcados nos satélites TERRA e AQUA, da NASA. Para diminuir o impacto da presença de nuvens na região de estudo utiliza-se a composição de oito dias de imagens, previamente georreferenciadas e aplicada a correção atmosférica. Estas imagens fornecem estimativas diretas da refletância da superfície imageada, e são compostos pela combinação dos pixels de melhor qualidade (menor cobertura de nuvens e melhor geometria). As imagens estão disponíveis gratuitamente, no site da NASA (<https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>), com séries iniciadas em junho de 2000 (TERRA) e julho de 2002 (AQUA). Para a obtenção de dados sedimentométricos são utilizadas as bandas radiométricas do vermelho e infravermelho dos produtos MOD09Q1 e MYD09Q1, que possuem resolução espacial de 250 metros. Para obtenção dos dados de clorofila-*a* são utilizadas as bandas espectrais do vermelho, azul e verde dos produtos MOD09A1 e MYD09A1, que possuem resolução espacial de 500 metros.

Para processamento automático das imagens MODIS é utilizado o algoritmo MOD3R, desenvolvido pelo IRD para a extração de séries temporais de refletância das imagens MODIS dos corpos hídricos (disponível para *download* gratuito no site do ORE-HYBAM, <http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/Software/Getmodis-Mod3r>). O algoritmo determina os pixels de água pura presentes na imagem e, a partir dos valores de refletância, estima-se os valores de turbidez e concentrações de sedimentos em superfície, usando as bandas do vermelho e do infravermelho, e concentrações de clorofila-*a*, usando as bandas do verde e vermelho. O programa apresenta uma interface simples para seleção de imagens e parâmetros necessários para os cálculos. São gerados arquivos de saída com resumos das imagens processadas, e o resultado, para cada imagem, é acompanhado por um indicador de qualidade de aquisição do dado.

A calibração dos modelos de estimativa de turbidez, concentração de sedimentos e clorofila-*a* são realizadas a partir de dados coletados *in situ*, em campanhas de campo realizadas em diferentes locais e épocas do ano. Nestas campanhas também são coletados dados a partir de radiômetros multiespectrais. Detalhes dos procedimentos de processamento e calibração dos dados podem ser encontrados em Martinez et al. (2011), Espinoza Villar et al. (2012), Ventura (2013), Espinoza Villar (2013) e Piscocoya et al. (2013, 2014). O sistema HidroSat realiza, automaticamente, a verificação e *download* de novas imagens no site da NASA, e o processamento e disponibilização dos dados estimados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 (esquerda) mostra a tela principal do sistema com as estações virtuais altimétricas, sedimentométricas, de turbidez e clorofila-*a*. Para acessar os dados de cada estação pode-se clicar no símbolo da estação no mapa, ou filtrar pelo código ou nome da estação no menu que aparece à esquerda da tela. A Figura 2 (direita) mostra um exemplo da aba de visualização de dados altimétricos da estação Montante Tabatinga Virtual JA2, localizada no rio Solimões nas proximidades da tríplice fronteira Brasil-Peru-Colômbia. Esta estação fornece dados de cota do rio Solimões, poucos quilômetros antes de sua entrada no Brasil. Este é, portanto, um exemplo da obtenção de dados de cotas em um rio transfronteiriço, utilizando sensoriamento remoto, sem a necessidade de instalação de estação com réguas ou outros equipamentos físicos para a leitura de cotas.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

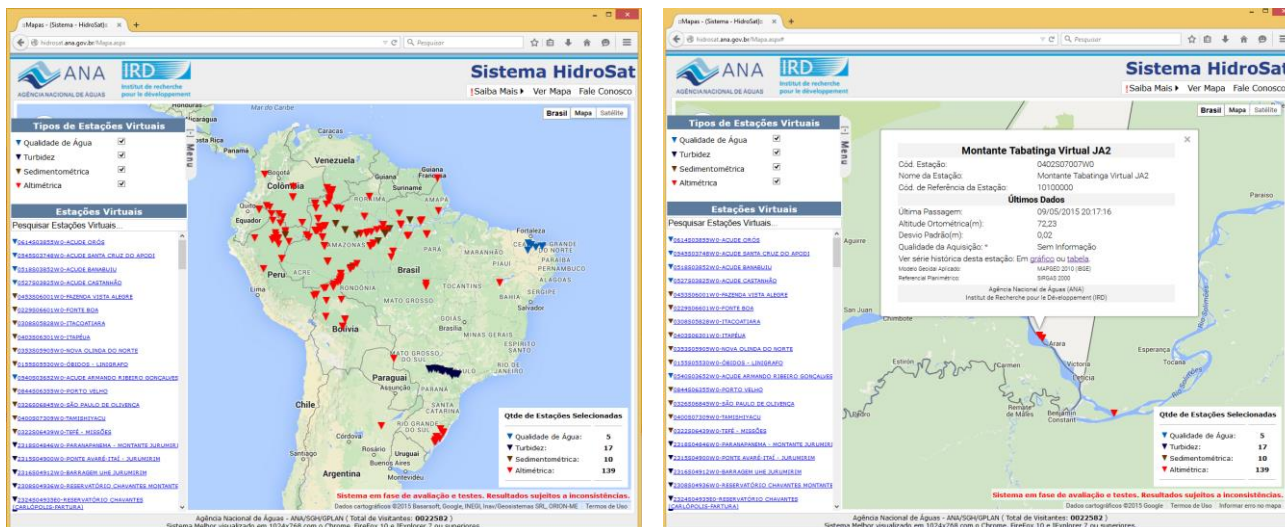


Figura 2 - (esquerda) Tela inicial do sistema Hidrosat (www.hidrosat.ana.gov.br); (direita) Caixa de dados com informações da Estação Montante Tabatinga Virtual JA2.

Os dados das estações virtuais podem ser visualizados tanto na forma gráfica como tabular. A Figura 3 apresenta um exemplo da disponibilização de dados, em formato de gráfico, para uma estação altimétrica (Estação Montante Tabatinga Virtual JA2, no rio Amazonas), uma sedimentométrica (Estação São Paulo de Olivença, no rio Solimões), uma de qualidade de água (Estação Açude Armando Ribeiro Gonçalves, rio Piranhas) e uma de turbidez (Estação Barragem UHE Rosana, no rio Paranapanema).

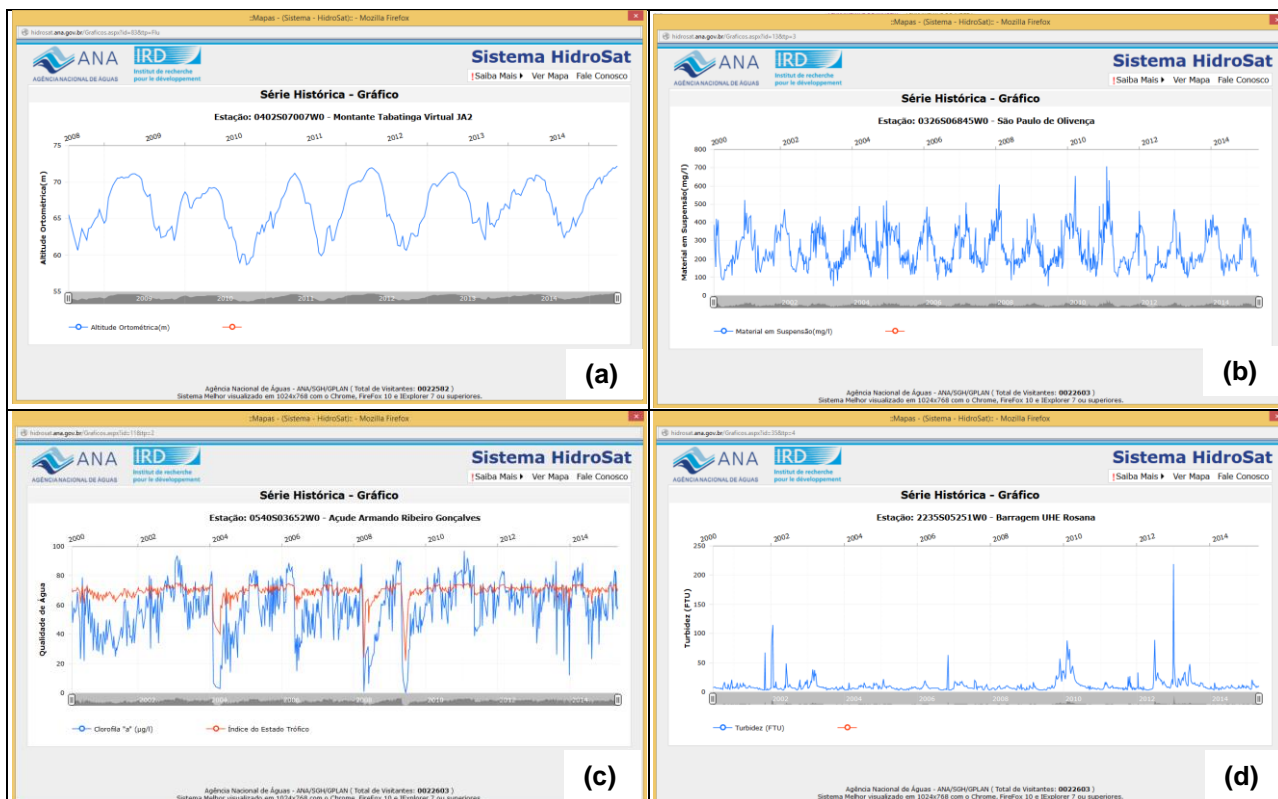


Figura 3 – Exemplo de visualização gráfica dos dados das estações virtuais: (a) estação altimétrica Montante Tabatinga Virtual JA2, no rio Solimões; (b) estação sedimentométrica São Paulo de Olivença, no rio Solimões; (c) estação de clorofila-a de açude Armando Ribeiro Gonçalves, rio Piranhas e; (d) estação de turbidez Barragem UHE Rosana, no rio Paranapanema.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema HidroSat, ainda em fase de aperfeiçoamento, vem atendendo os objetivos pelos quais foi idealizado, que a desenvolvimento de uma ferramenta computacional que facilite o processamento e a difusão de dados e informações hidrológicas geradas a partir de sensores satelitais, servindo como forma de complemento ao monitoramento hidrológico convencional.

Entre as próximas etapas de desenvolvimento do sistema, deverá ser implementado o cálculo de vazão nas estações altimétricas virtuais, com base em curvas-chave geradas a partir de estações convencionais próximas, a quantificação da quantidade de sedimentos transportados em função dos dados de concentração de sedimentos e das vazões, além de melhorias nas ferramentas de administração e manutenção dos dados no sistema. Estas melhorias no sistema deverão ocorrer paralelamente ao esforço técnico/operacional para ampliar o número de estações disponibilizadas no sistema, e aumentar a frequência de campanhas de campo para validação e calibração dos dados.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. PORTARIA Nº 323/2008.

CLIO, C. & COCHONNEAU, G. (2011). Manual do VALS – Definição e atualização de estações virtuais. 33p.

ESPINOZA VILLAR, R.; MARTINEZ, J-M.; GUYOT, J-L.; FRAIZY, P.; ARMIJOS, E.; CRAVE, A.; BAZÁN, H.; VAUCHEL, P.; LAVADO, W. (2012). *The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins*. Journal of Hydrology (Amsterdam) 444-445, 221-228.

ESPINOZA VILLAR, R.; MARTINEZ, J-M.; LE TEXIER, M.; GUYOT, J. L.; FRAIZY, P.; MENESES, P. R.; & OLIVEIRA, E. D. (2013). *A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images*. Journal of South American Earth Sciences, V. 44, 45–54.

MARTINEZ, J.M.; VENTURA, D.; VIEIRA, M.R.; ATTAYDE, J.L.; BUBEL, A.P.; COIMBRA, M.R.; OLIVEIRA, E. (2011). *Satellite-based monitoring of reservoir eutrophication in the Brazil Semi-arid region*. In Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Curitiba, 2011, pp. 5247-5254.

PISCOYA, R.C.C.C.; MARTINEZ, J.M.; LOPES, W.T. A; COCHONNEAU, G.; NOGUEIRA, M.G., VENTURA, D.; VIEIRA, M.R.; OLIVIERA, E. (2013). Caracterização do fluxo de sedimentos no reservatório da UHE Jurumirim utilizando dados do sensor espacial MODIS. In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013.

PISCOYA, R.C.C.C.; MARTINEZ, J.M.; LOPES, W.T. A; COCHONNEAU, G.; VILLAR, R.E.; VENTURA, D.; VIEIRA, M.R.; OLIVIERA, E. (2014). Utilização do sensor espacial MODIS para monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório da Usina de Itaipu no rio Paraná. In Anais do XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, João Pessoa, Nov. 2014.

VENTURA, D.L.T. (2013). *Uso do Sensoriamento Remoto para Monitoramento da Concentração de Clorofila-a em Açudes do Semiárido*. Dissertação de Mestrado. UnB. 59p.

UNEP GEMS/Water Programme (2003). Technical Advisory Paper No. I – *Improving Global Water Quality Monitoring*. 18 pp.